



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS  
PARA LA EMPRESA PUBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA  
DE ASEO INTEGRAL DE LOS CANTONES PATATE Y PELILEO  
EMMAIT-EP EN EL CANTON PELILEO, PROVINCIA  
TUNGURAHUA**

TRABAJO DE TITULACION PARA OPTAR POR EL TITULO DE:

**INGENIERA QUIMICA**

**AUTORA: MYRIAM LIZETH MORALES PILATAXI**

**TUTORA: MÓNICA LILIÁN ANDRADE AVALOS**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2017**

**©2017, Myriam Lizeth Morales Pilataxi**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE CIENCIAS

### ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Loa miembros del Trabajo de Titulación certifica que, el trabajo técnico titulado “**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PARA LA EMPRESA PUBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DE ASEO INTEGRAL DE LOS CANTONES PATATE Y PELILEO EMMAIT-EP EN ELCANTON PELILEO, PROVINCIA TUNGURAHUA**” a responsabilidad de la Señorita Myriam Lizeth Morales Pilataxi con número de CI 180387958-2, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FECHA

FIRMA

Ing. Mónica Andrade A.

.....

.....

DIRETOR DEL

TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Hugo Calderón.

.....

.....

COLABORADOR DEL

TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Andrés Beltrán

.....

.....

DELEGADO DEL

TRABAJO DE TITULACIÓN

“Yo Myriam Lizeth Morales Pilataxi soy responsable de las ideas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

---

Myriam Lizeth Morales Pilataxi

## **DEDICATORIA**

Este fruto de mi trabajo y de mi investigación dedico con cariño inmenso a mis padres Pedro y Mirian que a más de darme la existencia me formaron con amor y con cariño.

Debo agradecer también a Dios porque al darme la vida me ha dado la capacidad e inteligencia para ser la persona que goza llegando a finalizar su carrera de estudiante.

En esta parte no puedo dejar a un lado a Joceline mi hermana que ha estado alentándome con su afecto y cariño como con su alegría y dedicación también.

Lizeth

## AGRADECIMIENTO

En la vida de las personas existe en todo momento un origen que le lleva a uno a caminar con seguridad, con optimismo, con devoción al anhelo que desde muy jovencita tuve, a ellos a mis queridos padres que me enseñaron a dar los primeros pasos en la vida y fueron los que formaron mi personalidad mi eterno reconocimiento y gratitud porque ellos con afecto y con amor me abrieron la senda por donde hube que trajinar venciendo las dificultades que la vida nos pone en el transcurso del tiempo. Cuando caía ellos con mucho afecto y amor me brindaron su mano acallaron mi llanto y me curaron con el beso de sus almas y su corazón. Gracias amados padres

A mi amada hermana porque ella compartió los momentos más lindos de mi vida desde muy pequeña, porque ella fue el aliento de la vida que con sus limitaciones seguía y cuidaba mis pasos, así mismo deseo que en la vida de ella que está en formación siga por ese camino que las dos juntas compartimos en los muchos momentos de alegría y en los pocos momentos de pesar.

Los caminos de la vida están llenos de grandes ilusiones, de grandes anhelos de grandes esperanzas y de enormes sueños. Mire al cielo y en el siempre vi una estrella rutilante que con su titilar de colores me llamaba a seguir su ruta para alcanzar mi estrella.

La estrella se me hizo una obsesión mi mirada estaba solamente dirigida a ella pues con seguridad caminaba y en mi caminar me encontré con una montaña de libros que me invitaban a beber su sabiduría. Me hice muy amiga de ellos. Mientras más leía el camino hacia mi objetivo se hacía más cercano me sentí muy alegre y contenta porque mi estrella, mi sueño, mi anhelo, lo veía cercano a mis manos.

La luz de mi mente ilumino desde allí la senda que debía recorrer. En las aulas los maestros mis compañeros y amigos fueron los que dieron la música fantástica de un concierto recogido del canto de las aves que me acariciaban con su canto. Cuando llegue como bachiller a las aulas universitarias mi alegría se hizo más profunda más fuerte y decidí caminar tratando de acortar más la distancia a mi estrella. Gracias querida universidad, gracias apreciados maestros que vertieron en mí el fondo regio de su sabiduría. Gracias compañeros y compañeras porque juntos formamos el escuadrón que llega a su objetivo.

No debe faltar mi agradecimiento aquellos verdaderos amigos que para mí constituyeron un tesoro muy preciado, gracias por su afecto por su apoyo por su aliento, porque me dijeron que no debemos quedarnos aquí sino marchar siempre durante toda nuestra vida hacia adelante.

Lizeth

## **TABLA DE CONTENIDOS**

Derechos de autor.....	II
Certificación.....	III
Declaración de responsabilidad.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Resumen.....	XI
Summary.....	XII

### **CAPITULO I**

1	DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1	Identificación del problema .....	1
1.2	Justificación Del Proyecto .....	2
1.3	Línea Base del Proyecto.....	3
1.3.1	Reconocimiento del lugar de investigación .....	3
1.3.2	Estado actual del sistema de tratamiento del agua residual.....	3
1.3.3	Metodología .....	5
1.3.4	Método de muestreo.....	6
1.3.5	Caudal del lixiviado .....	11
1.4	Beneficiarios Directos e Indirectos .....	12
1.4.1	Directos .....	12
1.4.2	Indirectos.....	12

### **CAPITULO II**

2	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	13
---	-----------------------------	----

2.1	Objetivo General .....	13
2.2	Objetivos Específicos.....	13

## **CAPITULO II**

3	ESTUDIO TÉCNICO .....	14
3.1	Localización del Proyecto .....	14
3.2	Ingeniería del Proyecto .....	15
3.2.1	Terminología.....	15
3.2.2	Tecnologías de tratamiento de aguas residuales de lixiviados .....	16
3.2.3	Diseño del sistema de tratamiento de lixiviados .....	22
3.2.4	Cálculos de la planta de tratamiento de lixiviados .....	69
3.2.5	Resultados .....	88
3.2.6	Análisis de los resultados .....	92
3.3	Proceso de Producción – Diagrama de Flujo .....	93
3.4	Requerimientos de Tecnología, Equipos y Maquinaria .....	94
3.5	Análisis de Costo .....	95
3.6	Cronograma de Ejecución del Proyecto.....	97
	CONCLUSIONES .....	98
	RECOMENDACIONES .....	100
	OBSERVACIONES.....	101
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Tratamiento actual del lixiviado.....	4
Figura 1-3 Ciclo del agua.....	25
Figura 2-3 Destilador solar de dos vértices.....	29
Figura 3-3 Ángulo de inclinación del vidrio.....	34
Figura 4-3 Analogía eléctrica del sistema.....	45
Figura 5-3 Balance de energía sobre el vidrio.....	52
Figura 6-3 Balance de calor sobre el agua.....	53
Figura 7-3 Balance global de energía sobre el dispositivo.....	54
Figura 8-3 Sistema de aguas superficial libre.....	62
Figura 9-3 Sistema de flujo bajo la superficie.....	63
Figura 10-3 Canal rectangular.....	70
Figura 11-3 Destiladores Solares.....	74
Figura 12-3 Humedal artificial flujo subsuperficial.....	88
Figura 13-3 Diagrama de la planta de tratamientos de lixiviados.....	94

## INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1-3 Parámetros físicos.....	90
Gráfica 2-3 Parámetros Químicos.....	91
Gráfica 3-3 Remoción parámetros químicos.....	92

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Métodos físicos para caracterizar lixiviados.....	6
Tabla 2-1. Métodos químicos para caracterizar lixiviados .....	7
Tabla 3-1. Métodos microbiológicos para caracterizar lixiviados .....	8
Tabla 4-1 Análisis Físico inicial del lixiviado (ver anexo K) .....	8
Tabla 5-1. Análisis químico y microbiológico inicial del lixiviado (ver anexo T y L).....	8
Tabla 6-1 Parámetros fuera de los límites permisibles (ver anexo T).....	10
Tabla 7-1. Aforación de caudal del lixiviado en el mes de agosto.....	11
Tabla 8-1. Aforación de caudal del lixiviado en el mes de septiembre.....	11
Tabla 9-1. Promedio final del caudal del lixiviado .....	12
Tabla 1-3 Índice de Biodegradabilidad .....	17
Tabla 2-3 Dimensiones del destilador solar prototipo .....	31
Tabla 3-3 Días n del año .....	36
Tabla 4-3 Heliofanía .....	39
Tabla 5.3 Datos de constantes para el cálculo de la radiación solar .....	40
Tabla 6-3 Valores de las constantes .....	44
Tabla 7-3 Porosidad de diferentes tipos de materiales .....	66
Tabla 8-3 Conductividad Hidráulica.....	67
Tabla 9-3 Ángulos y Radiación Mensual.....	77
Tabla 10-3 Radiación directa y difusa mensual en una superficie horizontal.....	78
Tabla 11-3 Radiación directa y difusa en una superficie inclinada.....	78
Tabla 12-3 Análisis parámetros físicos agua tratada (ver anexo Q).....	88
Tabla 13-3 Análisis parámetros químicos y microbiológicos agua tratada (ver anexo U) .....	88
Tabla 14-3 Parámetros Físicos .....	89
Tabla 15-3 Parámetros Químicos.....	90
Tabla 16-3 Materiales, equipos y reactivos para la caracterización del lixiviado.....	94
Tabla 17-3 Materiales, reactivos y equipos para las pruebas de Tratabilidad.....	95
Tabla 18-3 Presupuesto para la implementación de la Planta de Tratamiento de Lixiviados.....	95
Tabla 19-3 Cronograma de actividades.....	97
Tabla 1-A Temperaturas promedio diarias.....	110

## **RESUMEN**

El presente proyecto tuvo como objetivo el diseño de una planta de tratamiento de lixiviados para la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate - Pelileo EMMAIT-EP, con el fin de disminuir la carga contaminante y cumplir con lo que estipula el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA) libro VI, Anexo 1, tabla 9. Se siguieron Métodos Estándar para la Examinación del Agua y Agua Residual y se obtuvo la caracterización física, química y microbiológica. Para determinar los datos del caudal del relleno sanitario se utilizó el método volumétrico en base a los días que hay mayor descarga de residuos. Se identificó que los parámetros fuera del límite máximo permisible para descargas a cuerpos de agua dulce son: demanda química de oxígeno (DQO) 3670 mg/l, demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 7060 mg/l, nitrógeno total 13600 mg/l, sólidos totales 7080 mg/l, sulfuros 2,60 mg/l, tensoactivos 3,45 mg/l. El tratamiento aplicado fue netamente biológico con la utilización de humedales artificiales y un proceso de evaporación con el uso de la radiación solar (destilador solar). Se determinó la eficiencia de dichos tratamientos en la remoción de la carga contaminante, dando los siguientes resultados en los análisis al agua tratada: DQO 125 mg/l, DBO<sub>5</sub> 71 mg/l, nitrógeno total 40,2 mg/l, sólidos totales 728 mg/l, sulfuros <0,5 mg/l y tensoactivos 0,47 mg/l; con un porcentaje de remoción promedio del 91,4 %. Se concluyó que después de la caracterización final los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles y cumplen con lo que estipula el TULSMA. Se recomienda utilizar materiales de buena calidad para la construcción de los diferentes equipos, para aumentar la vida útil de los equipos y de la planta.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MEDIO AMBIENTE>, <TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS>, <CARACTERIZACIÓN>, <CARGA CONTAMINANTE>, <LÍMITES PERMISIBLES>, <TRATABILIDAD>, <HUMEDAL ARTIFICIAL>, <DESTILADOR SOLAR>.

## SUMMARY

The objective of this project was to design a leachate treatment plant for the Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate-Pelileo EMMAIT-EP, in order to reduce the pollutant load and comply with what the Unified Text of Legislation Secondary Environmental stipulates (TULSMA). Book VI, Annex 1, and Table 9. Standard Methods were followed for the examination of water and wastewater and physical, chemical and microbiological characterization was obtained. To determine the data of the flow of the sanitary landfill was used the volumetric method in base to the days that there is greater discharge of residues. It was identified that the parameters outside the permissible maximum limit for discharges to freshwater bodies are: chemical oxygen demand (DQO) 3670 mg / l, biological oxygen demand (DBO<sub>5</sub>) 7060 mg / l, total nitrogen 13600 mg / l, total solids 7080 mg / l, sulfides 2,60 mg / l, surfactants 3,45 mg / l. The applied treatment was purely biological with the use of artificial wetlands and a process of evaporation with the use of solar radiation (solar distiller). Efficiency was determined of these treatments in removal the pollutant load, giving the following results in the analysis of the treated water: DQO 125 mg / l, DBO<sub>5</sub> 71 mg / l, total nitrogen 40,2 mg / l, total solids 728 mg / l, sulfides <0,5 mg / l, and surfactants 0,47 mg / l; with a percentage of removal average of 91,4%. The research paper concluded that after the final characterization, the parameters are within the permissible limits and comply with what stipulates the TULSMA. It is recommended to use materials of good quality for the construction of the different equipment to increase the useful life of the equipment and the plant.

**KEYWORDS:** <ENGINEERING SCIENCES AND TECHNOLOGY>, <ENVIRONMENT>, <LEACHATE TREATMENT>, <CHARACTERIZATION>, <POLLUTANT LOAD>, <PERMISSIBLE LIMITS>, <TREATABILITY>, <ARTIFICIAL WETLAND>, <SOLAR DISTILLER>.

## **CAPITULO 1**

### **1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Identificación del problema**

“La situación actual del medio ambiente es preocupante debido al grado de contaminación que la basura genera al suelo, aire y agua. Los intentos de eliminar la basura por medio de los rellenos sanitarios no conforman una verdadera solución para evitar la contaminación, puesto que al depositarlos, éstos comienzan a descomponerse en líquidos lixiviados y gases.” (BioEnciclopedia, 2014) “Para evitar que continúen estos problemas es importante crear políticas, tratamientos y opciones de desarrollo social que puedan incorporarse en el ámbito sustentable” (Jiménez, 2012)

“El lixiviado de un relleno sanitario se genera por múltiples factores, como lo son: la descomposición de basura, la edad del relleno, el diseño y la operación del relleno sanitario, la solubilidad de los desechos, los procesos de conversión microbiológica y la interacción del lixiviado con el ambiente.” (Álvarez & Suárez, 2006) (Jiménez, 2012)

“Factores de un lixiviado como el caudal varía de acuerdo con el estado de avance y el tipo de operación del relleno, así como también la composición varía en el tiempo de vida del relleno sanitario.” (Álvarez & Suárez, 2006) “Todos estos factores descritos conllevan, por tanto, a una gran complejidad en su tratamiento, ya que provocan fuertes cargas orgánicas, altos contenidos de nitrógeno y presencia de metales pesados.” (Guevara, et al., 2014)

En la actualidad el Relleno Sanitario de la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate - Pelileo EMMAIT-EP, no cuenta con un manejo ambiental adecuado de los diferentes productos tanto líquidos como gaseosos generados por la descomposición diaria de basura.

En este proyecto el enfoque será netamente para los lixiviados formados por el percolado de agua lluvia en el relleno sanitario; que por su naturaleza causan problemas de contaminación y el único tratamiento que se le da actualmente es su recirculación al mismo relleno una vez llenado los tanques de almacenamiento existentes.

En los análisis a los lixiviados generados se identifica algunos de los parámetros fuera del límite permisible como son sólidos totales, sulfuros, demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), tensoactivos, demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total, coliformes totales y sólidos suspendidos; por lo que el grado de contaminación de estos lixiviados al ambiente son grandes y su tratamiento es primordial para contribuir a la conservación de los recursos naturales del sector.

## **1.2 Justificación Del Proyecto**

“Alrededor de 30 toneladas de basura se procesan diariamente en la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate-Pelileo (EMMAIT-EP), organismo que se formó en Tungurahua como un ejemplo del trabajo coordinado de dos órganos locales sobre un problema del manejo de la basura y cuyo tratamiento requiere tareas como recolección, reciclaje, tratamiento y manejo adecuado de residuos sólidos urbanos.” (El Telégrafo, 2013)

EMMAIT – EP es una empresa comprometida con el cuidado del ambiente para lo cual ha puesto en marcha el proyecto de la separación de basura en orgánica e inorgánica, con la disposición de días definidos para su recolección; con todo esto pretende facilitar un tratamiento específico a cada uno de estos residuos. Pero la ejecución de este proyecto no es suficiente para mitigar toda la contaminación que los rellenos sanitarios generan al ambiente, debido a lo cual EMMAIT-EP, desea incluir nuevos tratamientos sobre el manejo inadecuado de los lixiviados generados en el relleno sanitario.

El lixiviado producido de la basura, causa serios problemas ya que si son descargados directamente a un cuerpo de agua dulce estos causarían la eutrofización del suelo, por ende provocaría la muerte de ciertas especies acuáticas propias del río; además provoca un

importante peligro para la salud y la seguridad pública. Teniendo en cuenta el bienestar del ecosistema y de las poblaciones aledañas nos vemos en la necesidad de incrementar un tratamiento acorde al problema generado por la descomposición de los mismos, que garantice la mitigación de los impactos ambientales negativos al medio.

Los lixiviados del relleno sanitario de los cantones Patate – Pelileo no pueden ser vertidos en las lagunas de oxidación municipales directamente debido a la alta carga contaminante que estos representan según los análisis físico-químicos realizados, por lo que son recirculados en el mismo relleno con el fin de disminuir la carga contaminante que estos representan.

Para la empresa EMMAIT-EP es primordial que con el sistema de tratamiento a diseñar, los lixiviados tratados cumplan con todas las normas que exigen tanto en el Ministerio del Ambiente como la Municipalidad, rigiéndose en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), con la finalidad de evitar daños en la salud de los habitantes aledaños provocado por el incrementando de olores o por los animales e insectos que se generan y la preservación de los ecosistemas.

### **1.3 Línea Base del Proyecto**

#### ***1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación***

En el trabajo de investigación se realizó un diálogo con los representantes de la empresa EMMAIT-EP y los encargados del monitoreo diario del relleno sanitario para conocer la problemática actual. Además se realizó un recorrido previo por el área donde se va a muestrear y monitorear el lixiviado.

#### ***1.3.2 Estado actual del sistema de tratamiento del agua residual***

Se identificó que el relleno sanitario de la empresa EMMAIT-EP cuenta área de terreno de 8612 m<sup>2</sup>. Los lixiviados en el relleno sanitario son provenientes del agua lluvia y el índice de

precipitación en el área es de 1,95 mm al día. El caudal del lixiviado no es constante y según los análisis de años anteriores contiene alta carga contaminante.

El relleno sanitario tiene una impermeabilización con geomembrana y geotextil, además se contiene en la base unas chimeneas para la generación del gas metano y unos drenes en forma de espina de pescado, a través de los cuales se recoge el lixiviado generado hacia los 2 tanques recolectores diseñados para un volumen de 3 m<sup>3</sup>. El lixiviado recolectado en estos tanques son posteriormente recirculados al rellano sanitario con la finalidad de eliminar el foco de contaminación que estos representan.

El proceso de compactación de la basura se lo realiza diariamente con un tractor de orugas y luego de este proceso se realiza un cubrimiento de los desechos con una capa de 20 cm de tierra (material de cobertura). Los desechos depositados en el relleno sanitario son generados en zonas rurales y urbanas de las ciudades de Patate y Pelileo. El tipo residuos son domiciliario, comunes y los provenientes de plazas y mercados.

Las chimeneas tienen un quemador el mismo que quema diariamente los gases generados en el relleno sanitario.

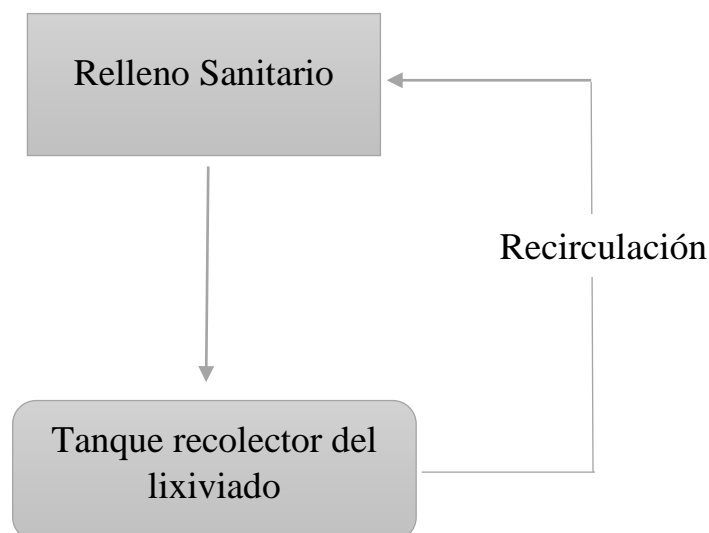


Figura 1-1 Tratamiento actual del lixiviado

Realizado por: Lizeth Morales, 2017



### **1.3.3            *Metodología***

#### **1.3.3.1        *Métodos***

Los métodos a utilizar son deductivo e inductivo, mismos que abordan el problema de investigación del proyecto para lograr así los objetivos planteados.

DEDUCTIVO.- En este estudio el proyecto se desarrolla a partir de fundamentos y conceptos generales sobre tratamientos de aguas de todo tipo ya sean con recursos físicos, químicos o biológicos y los diferentes procesos que cada uno de ellos contiene, una vez identificado el más adecuado se realiza pruebas experimentales con el lixiviado a tratar hasta obtener un sistema de tratamiento idóneo con los mejores beneficios tanto en la economía como en la eficiencia sin dejar de lado la sustentabilidad del mismo.

INDUCTIVO.- El proyecto en base a este estudio inicia analizando hechos particular relacionados con el tema y que de una u otra forma afectan en el desarrollo del mismo, como: la edad del relleno donde se genera el lixiviado, el clima, la determinación del caudal, la situación actual del tratamiento del lixiviado, el área disponible o el muestreo adecuado para la caracterización física, química y microbiológica inicial. Una vez obtenida toda la información detallada se puede realizar un diagnóstico del problema y las mejores soluciones que se le puede dar.

ANALISIS y SINTESIS.- Este estudio se aplica en el momento de elegir la opción correcta de tratamiento de lixiviado en base a los resultados de los análisis de caracterización que muestran los parámetros que están fuera del límite permisible y al índice de biodegradabilidad. Además también se aplica al finalizar las pruebas experimentales en el momento de establecer cuáles son las variables del proceso dieron los mejores resultados de remoción de contaminantes con costos mínimos de inversión.

EXPERIMENTAL.- se trata de todos los procesos realizados en el laboratorio que nos permite obtener todos los datos de los parámetros tanto físicos, químicos o microbiológicos, así como también los datos de los procesos de tratamiento de prueba.

#### *1.3.3.2 Técnicas y Normas*

Todos los procesos de laboratorio realizados para obtener el valor de cada uno de los parámetros fueron en base al manual de procedimiento técnico del Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias - ESPOCH.

Para determinar los parámetros que están fuera del límite permisible se basa en el TULSMA 2016, libro IV, Anexo 1, tabla 9, descarga a cuerpos de agua dulce (última versión).

#### *1.3.4 Método de muestreo*

La muestra se recolecta manualmente y de tipo simples. Las muestras se homogenizan para obtener una muestra compuesta al final, la misma que servirá para obtener unos mejores resultados en los análisis de laboratorio. Las muestras fueron recolectadas los días lunes, miércoles y viernes, base a una recomendación de los encargados del relleno sanitario debido a que son los días donde se deposita mayor cantidad de residuos.

##### *1.3.4.1 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos.*

Las aguas contaminadas como los lixiviados presentar componentes diversos en función de su procedencia, para determinar el grado de contaminación que representan se analiza lo siguiente:

Tabla 1-1 Métodos físicos para caracterizar lixiviados

<b>Parámetros</b>	<b>Métodos</b>	<b>Unidad</b>
Ph	Potenciométrico. REF1001/S503	.....
Color	Colorímetro REF1001/S502	UTC
Turbidez	Nefelométrico. REF1001/S505	NTU

Conductividad	Conductimétrico/Potenciométrico REF1001/S501	$\mu S/cm$
Temperatura	Conductimétrico. REF1001/S501	$^{\circ}C$
Solidos totales disueltos	Potenciométrico. REF1001/S504	$g/L$

Fuente: TULSMA, Anexo 1, Libro IV, tabla 9, Límites de descarga a un cuerpos de agua dulce

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

Tabla 2-1 Métodos químicos para caracterizar lixiviados

Parámetros	Métodos	Unidad
Nitrógeno Total kjendahl	PEE/CESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	$mg/L$
Sulfatos $(SO_4)^{2-}$	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No. 4500- $(SO_4)^{2-}$ E	$mg/L$
Cromo	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	$mg/L$
Hierro (Fe)	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	$mg/L$
Aluminio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	$mg/L$
Cloro libre residual	PEE/CESTTA/12 Standard Methods No.4500-CI G	$mg/L$
Plomo	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	$mg/L$
Zinc	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	$mg/L$
Selenio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	$mg/L$
Fosforo total	PEE/CESTTA/21 Standard Methods No.4500-P B5	$mg/L$
Tensoactivos	PEE/CESTTA/44 Standard Methods No.5540 C	$mg/L$
Sulfuros	PEE/CESTTA/19 Standard Methods No.4500-S <sup>2-</sup> C y D	$mg/L$
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No.5220 D	$mg/L$

Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No.5210 B	mg/L
---	---	------

Fuente: TULSMA, Anexo 1, Libro IV, tabla 9 Límites de descarga a un cuerpos de agua dulce

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

Tabla 3-1 Métodos microbiológicos para caracterizar lixiviados

Parámetro	Método	Unidad
Coliformes Fecales	NTE INEN 1529-7	$2.5 \times 10^4$
Coliformes Totales	NTE INEN 1529-7	-

Fuente: TULSMA, Anexo 1, Libro IV, tabla 9 Límites de descarga a un cuerpos de agua dulce

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

#### 1.3.4.2 Caracterización inicial de los lixiviados

Tabla 4-1 Análisis Físico inicial del lixiviado (ver anexo K)

Parámetro	Unidad	Resultado
Color	Pt Co	9410
Turbidez	NTU	183
Conductividad	ms/cm	14,3
Sales	-	8,1

Fuente: TULSMA, Anexo 1, Libro IV, tabla 9 Límites de descarga a un cuerpos de agua dulce

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

Tabla 5-1 Análisis químico y microbiológico inicial del lixiviado (ver anexo T y L)

Parámetros	Métodos	Unidad	Resultado	Incertidumbre	Valor limite
Nitrógeno Total kjendahl	PEE/CESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	mg/L	13600	±6%	50
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No. 4500-(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> E	mg/L	< 8	±25%	1000
Cromo hexavalente	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	0,36	±11%	0,5
Hierro (Fe)	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	5,16	±16%	10

Aluminio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	0,83	±7%	5
Cloro libre residual	PEE/CESTTA/12 Standard Methods No.4500- CI G	mg/L	< 0,1	±27%	0,5
Plomo	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	< 0,01	±18%	0,2
Zinc	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	< 0,25	±11%	5
Selenio	PEE/CES TTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	< 0,05	±22%	0,1
Fosforo total	PEE/CESTTA/21 Standard Methods No.4500- P B5	mg/L	1,74	±23%	10
Organoclorados totales	PEE/CESTTA/130 GC	mg/L	< 0,002	-	0,05
Tensoactivos	PEE/CESTTA/44 Standard Methods No.5540 C	mg/L	3,45	±7%	0,5
Sulfuros	PEE/CESTTA/19 Standard Methods No.4500- S <sup>2-</sup> C y D	mg/L	2,60	±5%	0,5
Compuestos Fenólicos	PEE/CESTTA/14 Standard Methods No. APHA 5530 C	mg/L	< 0,2	±7%	0,2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No.5220 D	mg/L	3670	±6%	200
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No.5210 B	mg/L	7060	±15%	100
Potencial de hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Method No.4500- H <sup>+</sup> B	mg/L	8,31	±0,2	6 – 9
Solidos totales	PEE/CESTTA/10 Standard Method No.2540 B	mg/l	7080	±3%	1600
Solidos Suspendedos	PEE/CESTTA/13 Standard Method No.2540	mg/l	220	±11%	130

	D				
Coliformes Totales	NTE INEN 1529-7	UFC/g	$2,5 \times 10^4$	-	2000

Fuente: TULSMA, Anexo I, Libro IV, tabla 9 Límites de descarga a un cuerpos de agua dulce

Realizado por: El Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental – CESTTA

Tabla 6-1 Parámetros fuera de los límites permisibles (ver anexo T)

Parámetros	Métodos	Unidad	Resultado	Incertidumbre	Valor límite
Nitrógeno Total kjendahl	PEE/CESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	$mg/L$	13600	$\pm 6\%$	50
Tensoactivos	PEE/CESTTA/44 Standard Methods No.5540 C	$mg/L$	3,45	$\pm 7\%$	0,5
Sulfuros	PEE/CESTTA/19 Standard Methods No.4500-S <sup>2-</sup> C y D	$mg/L$	2,60	$\pm 5\%$	0,5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No.5220 D	$mg/L$	3670	$\pm 6\%$	200
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No.5210 B	$mg/L$	7060	$\pm 15\%$	100
Solidos totales	PEE/CESTTA/10 Standard Method No.2540 B	mg/l	7080	$\pm 3\%$	1600
Solidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Method No.2540 D	mg/l	220	$\pm 11\%$	130

Fuente: TULSMA, Anexo I, Libro IV, tabla 9 Límites de descarga a un cuerpos de agua dulce

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización se obtiene el índice de biodegradabilidad para conocer qué tipo de tratamiento es factible aplicar en los lixiviados.

$$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{7060}{3670} = 1,924$$

$1,924 > 0,4 \rightarrow \text{muy biodegradable}$

El resultado nos indica que es muy biodegradable (ver tabla 10.3) y por lo tanto se debe aplicar sistemas biológicos para su tratamiento.

### 1.3.5 Caudal del lixiviado

El relleno sanitario de la empresa EMMAIT-EP consta con un recubrimiento de geomembranas y geo textil, lo que permite conducir el lixiviado generado hacia el vertedero y posteriormente a los tanques receptores. El caudal no es constante de manera que para determinarlo se aplica el método volumétrico de la siguiente manera:

- Se realiza aforaciones directas del lixiviado en el punto de descarga al tanque receptor, para lo mismo se utilizó un balde de un litro y un cronometro para determinar el tiempo de llenado.
- Las horas para las aforaciones se escogieron en base a consideraciones como los días de recolección de basura y el horario de compactación; siendo a las 07H00, 12H00 y 16H00 los días lunes, miércoles y viernes.
- Las mediciones se realizaron en los meses de agosto una semana y septiembre por dos semanas y el clima fue variado.
- Una vez obtenidos los datos se realiza los cálculos pertinentes para determinar el caudal promedio.

Tabla 7-1 Aforación de caudal del lixiviado en el mes de agosto

<b>Repeticiones</b>	<b>Lunes (L/s)</b>	<b>Miércoles (L/s)</b>	<b>Viernes (L/s)</b>
<b>1</b>	0,0116	0,0112	0,011
<b>2</b>	0,0107	0,0116	0,0105
<b>Promedio</b>	<b>0,0112</b>	<b>0,0114</b>	<b>0,0108</b>

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

Tabla 8-1 Aforación de caudal del lixiviado en el mes de septiembre

<b>DIAS</b>	<b>Lunes (L/s)</b>	<b>Miércoles (L/s)</b>	<b>Viernes (L/s)</b>
-------------	--------------------	------------------------	----------------------

<b>Semana 1 Horarios</b>	7:00	0,005	0,0048	0,0042
	12:00	0,005	0,0048	0,0049
	16:00	0,0047	0,0044	0,005
<b>Semana 2 Horarios</b>	7:00	0,0045	0,0047	0,0048
	12:00	0,0046	0,0051	0,0049
	16:00	0,0047	0,005	0,0052
<b>Semana 3 Horarios</b>	7:00	0,0054	0,0045	0,0075
	12:00	0,0057	0,0051	0,0082
	16:00	0,0053	0,0053	0,0082
<b>Promedio Parcial L/s</b>		<b>0,00498</b>	<b>0,00486</b>	<b>0,00588</b>
<b>Promedio total: 0,00524 L/s</b>				

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

Tabla 9-1 Promedio final del caudal del lixiviado

<b>Meses</b>	<b>Promedio mensual Q (L/s)</b>
Agosto	0,0112
Septiembre	0,0052
<b>Promedio Final</b>	<b>0,0082 L/s</b>

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

## 1.4 Beneficiarios Directos e Indirectos

### 1.4.1 Directos

- Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate - Pelileo EMMAIT-EP.

### 1.4.2 Indirectos

- La comunidad cercana a la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario.



## **CAPITULO 2**

### **2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1 Objetivo General**

- Diseñar una planta de tratamiento de lixiviados para la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral de los cantones Patate y Pelileo EMMAIT-EP en el cantón Pelileo, Provincia Tungurahua.

#### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar la caracterización física, química y microbiológica de los lixiviados originados en el relleno sanitario en base al TULSMA LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 9 límite de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Identificar los parámetros que están fuera de los límites permisibles, según indica el TULSMA LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 9 límite de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Realizar pruebas de tratabilidad para obtener los parámetros del diseño.
- Dimensionar el sistema de tratamiento de lixiviados.
- Establecer la factibilidad técnica y económica del diseño para el sistema de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario.
- Validar el diseño mediante la caracterización final física, química y bacteriológica del lixiviado en base al TULSMA LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

## CAPITULO 3

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1 Localización del Proyecto

El relleno sanitario de la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral de los cantones Patate y Pelileo EMMAIT-EP está ubicado en la Parroquia Pelileo Grande el derrumbo, ingreso a Puenevata a un kilómetro vía a Patate, en el Cantón Pelileo, Provincia de Tungurahua, en el centro de la Región Interandina de Ecuador.

Los límites del Cantón Pelileo son:

- Al norte con el Cantón Píllaro.
- Al sur con la Provincia de Chimborazo.
- Al este con los cantones Baños y Patate.
- Al oeste con los cantones Ambato, Cevallos y Quero.

El Cantón de Pelileo tiene una superficie de 202 Km<sup>2</sup>. A una altitud media de 2600 m s. n. m, su temperatura es de 17° C.



Mapa 1-1 Ubicación Geográfica de Pelileo

Fuente: GOOGLE MAPS

### **Coordenada referencial de ubicación en grados decimales**

**Latitud:** -1.3242067037697787

**Longitud:** -78.52453351020813

## **3.2 Ingeniería del Proyecto**

### **3.2.1 Terminología**

#### *Lixiviado*

Líquido nocivo, de color negro y olor penetrante capaz de contaminar suelos y aguas, generado por la degradación o por la disolución de los residuos sólidos urbanos al entrar en contacto con el agua lluvia y la humedad del mismo.

#### *Calidad de agua*

La calidad del agua se determina al comparar las características físicas, químicas y microbiológicas con las normas establecidas, las cuales se encargan de asegurar que el grado de toxicidad contenido sea mínimo, adecuado para el uso o consumo por parte de los seres humanos.

#### *Tratamiento de aguas*

Los tratamientos de aguas se basan en procesos físicos, químicos o biológicos con los que se asegura una mejor calidad de agua, del ambiente y de vida para el ser humano.

#### *Destilador solar de agua*

Se trata de un sistema que aplica el ciclo del agua (condensación y evaporación) de una manera sencilla y eficiente para generar agua pura. A través de este sistema se eliminan sales, microorganismos y contaminantes, resultando un agua apta para el consumo y uso humano.

### *Humedal artificial*

Los humedales artificiales son ecosistemas adaptados a condiciones específicas para provocar la depuración del agua. En ellos se dan procesos físicos, químicos y biológicos que ayudan a eliminar materia orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo hasta productos tóxicos.

Están compuestos de un sustrato o material granular, vegetación y agua a tratar

### *Heliofanía*

“Es el tiempo, en horas, durante el cual el sol tiene un brillo solar efectivo en el que la energía solar directa alcanza o excede un valor umbral variable entre 120 y 210 W/m<sup>2</sup>, que depende de su localización geográfica. También se le suele denominar brillo solar o insolación.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

### **3.2.2 Tecnologías de tratamiento de aguas residuales de lixiviados**

“El principal inconveniente de los rellenos sanitarios es la contaminación producida por su lixiviado. Este es un problema a largo plazo, ya que se siguen formando lixiviados incluso mucho tiempo después de cerrar el sitio. Desde el principio hasta el final debe haber un control estricto y efectivo de la producción de lixiviados.” (Fonseca, 2010)

“La composición compleja de los lixiviados y su variación se presentan según los residuos de los que se generan, el lugar de ubicación del relleno y la propia evolución al transcurrir el tiempo, hace difícil la creación de un sistema de tratamiento generalizado. Los métodos de tratamiento actuales sólo logran este objetivo parcialmente, y deben utilizarse dos o más de ellos en el proceso para superar las limitaciones que presentan los tratamientos individuales.” (Szantó, et al., 2011).

“Las alternativas de tratamiento de lixiviados se pueden clasificar de acuerdo a características como los niveles de tratamiento que se logren con cada una de ellas, o por el tipo de contaminación que puedan remover. Los lixiviados contienen todos los mayores grupos de

contaminación conocidos como: la contaminación por patógenos, por materia orgánica, por nutrientes, y por sustancias tóxicas” (Hernández, et al., 2014).

“Existe una extensa literatura sobre las aplicaciones de las diferentes tecnologías para el tratamiento de lixiviados. En las secciones siguientes se hace un resumen de las principales alternativas que se tienen actualmente.” (Hernández, et al., 2014)

### 3.2.2.1 *Procesos biológicos*

“Las alternativas mayormente utilizadas para la remoción de materia orgánica que es predominantemente en los lixiviados, son los procesos biológicos de tratamiento.” (Hernández, et al., 2014)

“De acuerdo a diversos estudios se ha encontrado que los procesos biológicos son efectivos para lixiviados jóvenes, que generalmente presentan altas concentraciones de ácidos grasos volátiles (AGV) y cuya relación de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno ( $DBO_5/DQO$ ) es mayor a 0,4, lo cual indica alta biodegradabilidad.” (Hernández, et al., 2014)

“La biodegradabilidad y las aguas residuales, son dos conceptos estrechamente vinculados, se sabe que gran parte de las sustancias que transporta el agua es materia orgánica, la cual en una importante fracción es biodegradable. La biodegradabilidad de estas sustancias es la propiedad que permite que las aguas residuales puedan ser depuradas por medio de microorganismos, los que utilizan estas sustancias como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción.” (Cisterna & Peña, s.f.)

“La biodegradabilidad condiciona la viabilidad de tratar biológicamente un efluente. Para el caso de un agua residual que contenga materia orgánica natural, la degradación es más fácil.” (Cisterna & Peña, s.f.)

Tabla 1-3 Índice de Biodegradabilidad

$DBO_5/DQO$	Índice de Biodegradabilidad
< 0,25	No Biodegradable

0,2 – 0,4	Biodegradable
> 0,4	Muy Biodegradable

Fuente: Morante Hilda (Morante, 2011)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

“Dependiendo de las características del lixiviado y de las necesidades del operador se optará por un tratamiento biológico aerobio o anaerobio:” (Hernández, et al., 2014)

- “*Tratamiento aerobio:* Este tipo tratamiento consiste en la depuración de los compuestos orgánicos por microorganismos en presencia de oxígeno y agitación, para evitar condiciones de anaerobiosis dentro de los tanques de depuración. Durante esta degradación se forman sólidos decantables que se separan con facilidad de la fracción líquida. Estos sistemas requieren de ciertas condiciones estables de funcionamiento, carga orgánica, concentración de nutrientes, de pH, etc. Se puede llegar a aplicar un tratamiento aerobio mediante el uso de lagunas aireadas, sistemas de lodos activados, sistemas biológicos de discos rotatorios, filtros percoladores, etc.” (Hernández, et al., 2014)
- “*Tratamiento anaerobio:* Se basa en una población bacteriana en condiciones de ausencia de oxígeno, lo que le hace ser un proceso con menor cantidad de lodos. Se deben tener muchas consideraciones en la operación, como los altos contenidos de amoníaco y de minerales disueltos, que pueden generar problemas de toxicidad para los microorganismos, y se necesitará una remoción previa del amoníaco, o la aplicación de cargas de trabajo reducidas.  
Se han reportado trabajos aplicando este tipo de tratamiento con diversos sistemas, como lagunas anaerobias, lecho fluidizado, filtros anaerobios y reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB).” (Hernández, et al., 2014)

### 3.2.2.2 *Sistemas naturales*

“Los sistemas naturales, lagunas y humedales artificiales, se han propuesto como alternativas para el tratamiento de lixiviados. Tienen la ventaja de la simplicidad en su operación, y la posibilidad de lograr diferentes niveles de tratamiento, desde un pre-tratamiento, hasta un tratamiento terciario en caso de necesitarse. La combinación de las lagunas y los humedales pueden manejar adecuadamente muchos de los problemas que en otras tecnologías aparecen

como son la acumulación de precipitados, la formación de espumas, la toxicidad a los microorganismos, y las variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas. Esto se logra al tener tiempos de retención hidráulica muy altos y volúmenes de procesos igualmente grandes.” (Hernández, et al., 2014)

“La principal desventaja que se tiene con estos sistemas es la cantidad de terreno que requiere para realizar los procesos. En especial en el caso de los humedales generan áreas de amortiguamiento visual, de ruido y de olores. En el caso de los humedales artificiales, su aplicación al tratamiento de los lixiviados es nueva, y se han puesto en marcha en Estados Unidos y Europa principalmente.” (Hernández, et al., 2014)

#### 3.2.2.3 *Recirculación de los lixiviados*

“La recirculación de los lixiviados es una de las técnicas para controlar la libre dispersión de lixiviados. Durante la recirculación de lixiviados, estos son retornados al relleno por reinfiltración dentro de los residuos dispuestos. Este método es considerado de control porque los lixiviados están continuamente fluyendo a través del relleno tratándose por medio de procesos biológicos, precipitación y adsorción. Estos procesos son benéficos para los rellenos sanitarios por el aumento del contenido de humedad, el cual incrementa la tasa de degradación biológica en los residuos, la estabilidad biológica y la tasa de recuperación del metano producido en el relleno.” (Hernández, et al., 2014)

“Entre los métodos de recirculación de lixiviados se tienen la aplicación directa de los lixiviados a los residuos durante su disposición, el rociado por irrigación en la superficie del relleno y la aplicación subsuperficial.” (Hernández, et al., 2014)

“Entre las desventajas del proceso tenemos el riesgo de exposición ambiental cuando los lixiviados son aplicados a la superficie del relleno, y la carencia de información y educación respecto al creciente riesgo que traería consigo una mala aplicación.” (Hernández, et al., 2014)

#### 3.2.2.4 *Evaporación*

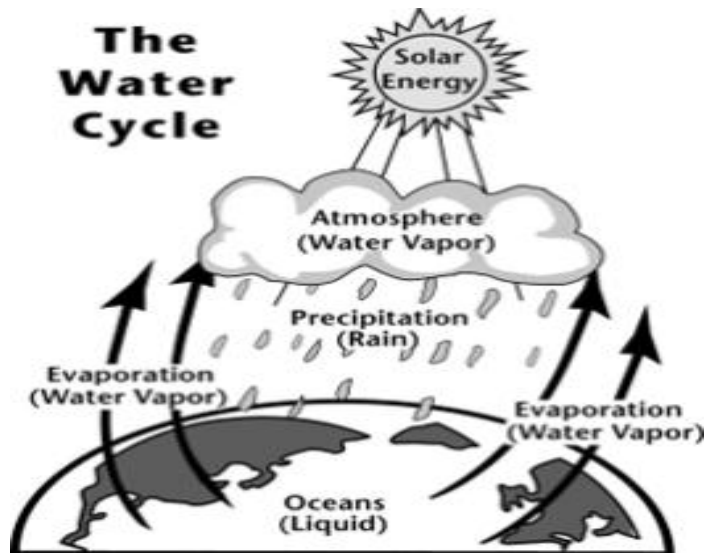
“Este proceso consiste en evaporar el agua contenida en el lixiviado por calentamiento. Para la aplicación de este proceso, el biogás emanado del relleno sanitario, se utiliza como fuente de energía para calentar el lixiviado. Las tecnologías existentes permiten lograr el control del total de emisiones de los lixiviados producidos en un relleno sanitario, quedando un lodo que se dispone nuevamente en el relleno. La experiencia y los cálculos de producción de gas y lixiviados en los rellenos sanitarios, indican que se genera gas en exceso, el cual cumple con las necesidades energéticas para la evaporación del lixiviado.” (Hernández, et al., 2014)

Otra fuente de energía es la radiación solar, misma que es aprovechada por equipos como paneles solares o destiladores solares. “El flujo de radiación solar que llega al nivel del suelo depende de múltiples factores como la ubicación del observador, la época del año, el momento del día, la orientación de la superficie receptora o la atenuación y dispersión de la radiación debida a una atmósfera estándar en un día claro, la nubosidad, el nivel de actividad solar, el contenido y tipo de aerosoles o la cantidad de vapor de agua precipitable en la atmósfera. El desafío para la ingeniería es concentrarla, almacenarla y aprovecharla eficientemente a menor costo.” (Abal, Versión 2.31)

“La irradiancia media incidente sobre una superficie normal a la dirección Tierra-Sol ubicada en el exterior de la atmósfera a una distancia igual a la distancia media tierra-sol es aproximadamente constante y se conoce como la *Constante Solar*,  $G_{sc}$ , cuyo valor es de  $G_{sc}=1353 \text{ W/m}^2$ , mismo que es avalado por la NASA ” (Abal, Versión 2.31).

“Mediante la radiación solar los destiladores solares duplican el ciclo hidrológico natural del agua (evaporación y precipitación). La destilación solar es el proceso que consiste en generar vapor para luego condensarse como agua pura. Todos los contaminantes son abandonados y los gases se vaporizan en las temperaturas más bajas.” (Loidl, 2010)





Figuras 1-3 Ciclo del agua

Fuente: (Pizzi, 2012)

“Este proceso es altamente eficaz en remover todos los contaminantes orgánicos e inorgánicos; metales pesados, Amoníaco, Nitrato, Cloruro, Fluoruro, Radio 226, Contaminantes orgánicos industriales, Insecticidas Comúnmente Usados, Herbicidas, y Plomo; así como también, todas las bacterias y virus.” (Hernández, et al., 2014)

#### 3.2.2.5 *Sistemas de membranas*

“La tecnología del tratamiento de aguas utilizando membranas es una tecnología de rápido desarrollo en la última década. Con mayor frecuencia se observan más aplicaciones de las membranas en el tratamiento de todo tipo de efluentes, incluyendo obviamente los lixiviados de rellenos sanitarios. Se encuentra en la literatura aplicaciones de la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración, la ósmosis inversa, la ósmosis directa e inclusive la pervaporación en el tratamiento de los lixiviados, bien sea de manera directa, o acoplada a otro tipo de proceso de tratamiento.” (Hernández, et al., 2014)

#### 3.2.2.6 *Procesos de oxidación avanzada (POA)*

“Las tecnologías o procesos de oxidación avanzada han tenido gran relevancia en el tratamiento de un centenar de contaminantes presentes en el agua, ya que poseen cierta peculiaridad en la forma en que ocurre la remoción de contaminantes.

Los POA son procesos fisicoquímicos que involucran la generación y uso de especies transitorias altamente reactivas, principalmente el radical hidroxilo ( $\text{HO}^\cdot$ ) que posee alta efectividad para la oxidación de la materia orgánica. Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, suministrando un incremento en la velocidad de reacción en el tratamiento de agua contaminada.” (Hernández, et al., 2014)

“Dos de los POA cuya aplicación se ha extendido en los últimos años para el tratamiento de una gran variedad de efluentes contaminados, son los procesos Fenton y Fotofenton. El primero en ausencia de luz y el segundo se lleva a cabo en presencia de iluminación natural o artificial.” (Hernández, et al., 2014)

### **3.2.3 *Diseño del sistema de tratamiento de lixiviados***

Existen diferentes tipos de tratamiento de aguas de lixiviados tanto físicos, químicos y biológicos. El tipo de tratamiento utilizado para tratar los lixiviados en base a los resultados de la biodegradabilidad es biológico. Se analizó que los tratamientos biológicos mayormente utilizados son los humedales artificiales por su facilidad de construcción, por la alta remoción de contaminantes y por sus bajos costos de implementación.

Otro de los tratamientos utilizados será la evaporación de los lixiviados usando como fuente de energía la radiación solar. Estudios de los últimos años demuestran que la destilación solar es un tipo de tratamiento altamente efectivo para tratar aguas residuales de todo tipo removiendo contaminantes como materia orgánica, metales pesados, nitrógeno, entre otros. El único pretratamiento para las aguas residuales antes de ingresar al destilador solar es que no contenga residuos de mayor tamaño, por lo que una previa filtración es necesaria.

#### **3.2.3.1 *Canal***

“El canal es una estructura abierta a la atmosfera destinada al transporte de fluidos. Está formando por diferentes dispositivos como: vertederos, compuertas, sifones, canaletas Parshall, y entre otros que permiten el control de caudal y el nivel del agua que está transportando. Los canales pueden ser de dos tipos:

- *Canales Naturales*: existen de una manera natural en la tierra como por ejemplo: arroyos, arroyuelos, ríos, estuarios de mareas, entre otros.
- *Canales Artificiales*: son contruidos sobre el suelo mediante esfuerzo humano. Pueden ser revestidos con roca, concreto, madera y material bituminosos.” (Valencia, 2013)

#### 3.2.3.1.1 Cálculos para el dimensionamiento del canal

“Características del canal, en base a las necesidades, el material y el lugar en donde se lo va a construir:

- ✓ Forma del canal: rectangular
  - ✓ Caudal:  $8,2 * 10^{-6} m^3/s$  (dato obtenido experimentalmente) ver tabla 6.1.
  - ✓ Base del canal: la base del canal está determinada en función del diámetro del vertedero, pues este debe ser 3 veces su diámetro, además se basa en las especificaciones de la Norma Técnica, artículo 10 del Ministerio del Ambiente dando un valor de 0,5 m” (Tapia, 2014)
  - ✓ Velocidad de 0,6 m/s (en la cual todos los sedimentos son acarreados según Rojas Rodrigo)
  - ✓ Pendiente del canal: 2% según la norma técnica, artículo 10 del Ministerio del Ambiente (Tapia, 2014)
- Área teórica del canal rectangular

Se calcula en base a la siguiente ecuación (Solis, 2008):

$$A = \frac{Q}{u}$$

Ecuación 1.3

Donde:

A: área del canal ( $m^2$ ).

Q: caudal diario generado en el relleno sanitario ( $m^3/s$ ).

u: velocidad de sedimentación 0,6 m/s.

- Altura

“El valor de la altura debe considerar una altura accesible para cualquier tipo de maniobra de limpieza y extracción de material flotante. Es conveniente aumentar 0,2 m como factor de seguridad para el libre borde a la altura.” (Solis, 2008)

$$h = \frac{A}{B} + 0,2$$

Ecuación 2.3

Donde:

h: altura del canal (m)

A: área del canal (m<sup>2</sup>)

B: base del canal (m)

- Longitud del canal

“La longitud del canal es igual a 3 veces su altura, este es un valor de salto hidráulico tomando como constante y se lo aplica para evitar la formación de remolinos.” (Solis, 2008)

$$L = 3 * h$$

Ecuación 3.3

Donde:

L: longitud del canal (m)

h: altura del canal (m).

### 3.2.3.2 Tamiz

La selección de tamices se basa en la granulometría del material filtrante para garantizar la eficiencia del proceso de filtración.

“Los tamices de 2” o de 1 ½” son utilizados para retener agregados gruesos como roca triturada, material orgánico, papel o cualquier otra sustancia indeseable en cantidad perjudicial, mientras que los tamices de número 40, 60, 120 o 160 son utilizados para retener agregados como arena fina y arena media.” (Consorcio consultores San Gil, 2009)

Se utilizara dos tamices de 2" y N° 40 para garantizar que al destilador solar no ingrese ningún tipo de residuo proveniente del relleno sanitario.

### 3.2.3.3 Vertedero

“Un vertedero es un dique o pared que presenta una escotadura de forma regular, a través de la cual fluye una corriente líquida.

Los vertederos se clasifican según la forma de la abertura en rectangulares, trapezoidales, triangulares y circulares.” (Marbello, 2014)

Se utiliza un vertedero circular debido a que este tipo se emplea específicamente para caudales pequeños.

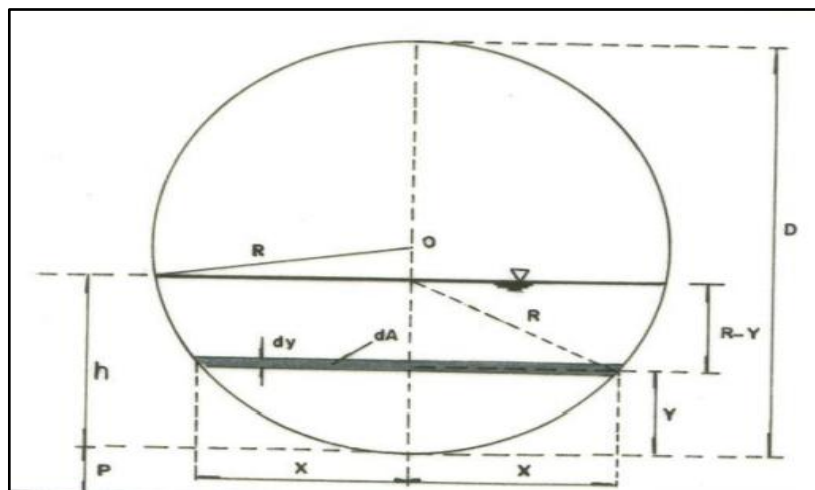


Figura 2-3 Vertedero Circular

Fuente: (Marbello, 2014)

#### 3.2.3.3.1 Diseño del vertedero circular

“La distancia mínima entre los bordes del vertedero y las fronteras del canal de acceso debe ser  $3D$  y su para relación de  $h/D$  serán valores comprendidos entre  $0.075 < h/D < 1.0$ ” (Marbello, 2014)

En base a lo mencionado anteriormente el diámetro del vertedero será de 0,15 m y el valor de la relación h/D es de 0,07 en base a la tabla del anexo C.

- Altura del agua en el vertedero

Se calcula en base a la relación h/D (dato obtenido en tablas).

$$\frac{h}{D} = 0,07$$

Ecuación 4.3

Donde:

h: profundidad aguas arriba (m)

D: diámetro del vertedero (m)

- Coeficiente de descarga

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110h} + 0,041 \frac{h}{D}$$

Ecuación 5.3

Donde:

Cd: coeficiente de descarga (adimensional)

D: diámetro del vertedero (m)

h: altura del agua en el vertedero (m)

- Caudal del vertedero

$$Q = C_d * \phi * D^{5/2}$$

Ecuación 6.3

Donde:

Q: caudal real (m<sup>3</sup>/s)

C<sub>d</sub>: coeficiente de descarga (adimensional)

D: diámetro del vertedero (m)

#### 3.2.3.4 *Destilador solar*

“Es un sistema de destilación basado en la utilización de la energía solar térmica para la obtención de agua a través del efecto de humidificación. El vapor de agua contenido en el aire húmedo es posteriormente condensado, con lo que se obtiene agua pura.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

Los elementos del destilador solar son:

- Bandeja recolectora

“Consiste en una bandeja, amplia, extensa y poco profunda. Dentro de esta se coloca una pequeña cantidad de agua, la cual se calienta directamente por contacto con el fondo de la bandeja. Se requiere un aislante térmico en las partes adecuadas, para evitar pérdidas de calor.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

- Evaporador

“La región en la que se lleva a cabo la evaporación del agua, técnicamente recibe el nombre de evaporador. En la mayoría de casos el evaporador es la misma bandeja recolectora que funge como colector.

Con el objeto de que el agua logre temperaturas relativamente altas (de 60 a 70 °C), es necesario que la profundidad de agua sea pequeña, tanto como sea posible.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

- Cámara de aire

“Sobre el evaporador existe una región con aire, que separa a éste del condensador. La función del evaporador es transferir agua al aire para saturarlo. La única función del aire es servir como medio de transporte para las moléculas de agua que viajan del evaporador al condensador.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

- Condensador

“Esto se logra colocando una cubierta de un material transparente, a cierta distancia sobre el evaporador. Típicamente se utiliza vidrio, o algunos plásticos. Debe tener una cierta inclinación, con el objeto de que el agua que se condensa sobre la cara interna del destilador escurra en la dirección deseada.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

- Elementos para la recolección del condensado

“El destilado que escurre hacia abajo, a lo largo de la cubierta del condensador, debe ser recolectado de forma que no se contamine y no se re evapore. Para ello se utilizan unos pequeños canales casi horizontales, colocados en la parte baja del condensador, pero protegidos adecuadamente contra la posibilidad de que el destilado se mezcle con el destilando. Estos canales colectores se conectan con tuberías que conducen el destilado al punto deseado, que suele ser un almacén relativamente cercano.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

### *Operación de los destiladores*

“La energía solar penetra en la parte cerrada del destilador a través de la tapa de vidrio. Como la superficie del destilador es de color oscuro, esta es capaz de atraer la mayor cantidad de radiación. Las paredes internas deben tener una superficie de color blanco, reflejando la luz solar que reciben, lo que aumenta la concentración de calor dentro del agua acumulada en el fondo del destilador.

La cubierta de vidrio provoca en condiciones adecuadas que se obtengan temperaturas lo suficientemente elevadas (en torno a 60°C) como para producir la evaporación de una parte del agua del estanque. Dichas temperaturas se consiguen gracias al “efecto invernadero” provocado por la cubierta transparente, y que consiste en que la mayor parte de la radiación solar exterior consigue atravesar la superficie de la cubierta, quedando después atrapada.

Una parte de esta radiación es absorbida por el agua que se encuentra en el estanque, y la otra parte es emitida con una longitud de onda mayor que la radiación incidente. A causa de su mayor longitud de onda, esta radiación no puede atravesar hacia el exterior la cubierta transparente, quedando confinada dentro del destilador solar.



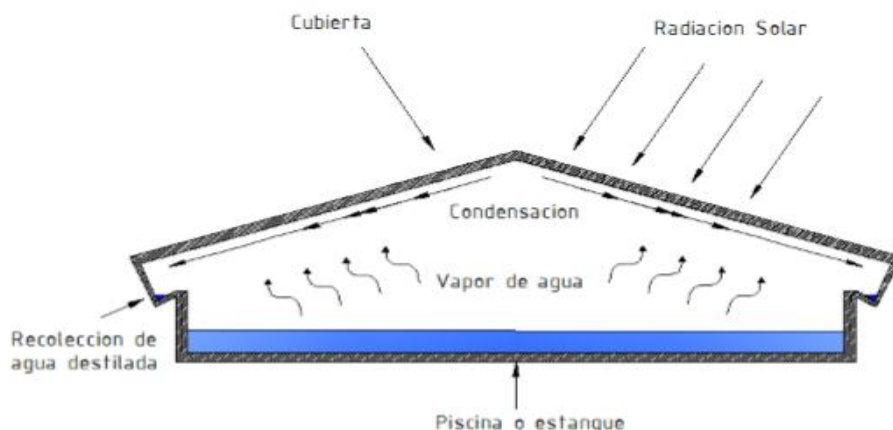
Ambas radiaciones provocan un incremento de la temperatura ambiente en el interior que favorece la evaporación de una pequeña parte del agua disponible en el estanque. El vapor así obtenido se condensa al entrar en contacto con la cara interior de la cubierta y forma pequeñas gotas de agua destilada que terminan uniéndose entre sí y deslizando por la pendiente de la cubierta. Finalmente son recogidas y canalizadas hasta un colector y terminan en el depósito de agua destilada.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

### 3.2.3.5 Destilador solar tipo de dos vértices (DS4)

“Un destilador solar de dos vertientes permitirá llegar a obtener hasta medio litro de agua destilada en un día de sol. Aquí se aumenta el área del condensador poniendo dos cubiertas por encima del colector solar lo que nos ayudara con la recolección del agua.

Por lo general este es un destilador solar de gran tamaño con geometría triangular la misma que se utiliza en invernaderos donde se obtienen resultados de la radiación solar incidente sobre cada uno de los condensadores con orientación fija en dirección Norte-Sur, se obtiene una eficiencia de hasta 50 %.

Un problema de este tipo de destilador solar es que, se encuentra que la evaporación en la cavidad de destilación es menor, a la que ocurre en canales abiertos, a pesar de las altas temperaturas que prevalecen en ella.



Figuras 2-3 Destilador solar de dos vértices

Fuente: Rodríguez Roberto, Saavedra Wilson (O'connell & Franco García, 1999)

Este tipo de dispositivos de diseños simples y de ciclos sencillos de funcionamiento poseen los análisis de los procesos de transferencia de calor y masa sumamente complejos.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

#### 3.2.3.6 *Recurso solar*

Se debe considerar los siguientes puntos:

“**G<sub>s</sub>**: El destilador solar aprovecha la radiación directa y difusa para poder llevar a cabo el proceso térmico de transferencia de calor y masa.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

“**G<sub>rv</sub>**: La radiación al llegar al vidrio sufre reflexión, absorción y transmitancia por lo tanto la radiación que entra al destilador es:  $G_s (1 - \alpha_g)$  donde  $\alpha_g$ , es un factor que incluye la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

“**G<sub>rw</sub>, G<sub>rf</sub>**: Posteriormente la radiación que ingresa al destilador choca contra la superficie del agua, aquí parte es reflejada y parte es absorbida y la mayoría llega al fondo de la bandeja en la cual parte de la radiación es nuevamente refleja y parte la mayor es absorbida, siendo esta:  $G_s (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_a)$  donde  $\alpha_a$  es un factor que incluye la reflexión y absorción por el agua y la reflexión por el fondo del destilador. Los valores de  $\alpha_g$  y  $\alpha_a$  son 0.1 y 0.3 respectivamente.” (Rodríguez & Saavedra, 2008)

##### 3.2.3.6.1 *Cálculos a seguir para el diseño del destilador solar*

- Consideraciones para el dimensionamiento del equipo

El prototipo de destilador solar utilizado para las pruebas experimentales fue construido por la Srta. Sabando Andrea para desarrollar el tema: “Diseño y construcción de un destilador solar para aguas residuales de la ciudad de Riobamba” (Sabando, 2017), y a partir de este prototipo se basan los cálculos para el dimensionamiento del equipo requerido para la planta de tratamiento.

El destilador solar prototipo utilizado es del tipo de dos vértices, construido de acero inoxidable para la bandeja recolectora, acero común (a-36) para la estructura soporte, utiliza en la cubierta vidrio de 4mm de espesor y como aislante lana de vidrio. Las medidas del equipo son las siguientes:

Tabla 2-3 Dimensiones del destilador solar prototipo

N°	Dimensiones	Valor	Unidades
1	Ancho de la estructura soporte	90	Centímetros
2	Largo de la estructura soporte	110	Centímetros
3	Altura de la estructura soporte	10	Centímetros
4	Largo de bandeja	100	Centímetros
5	Ancho de la bandeja	80	Centímetros
6	Altura de la bandeja	0,5	Centímetros
7	Ancho de la tapa de vidrio	34	Centímetros
8	Largo de la tapa de vidrio	105,5	Centímetros
9	Altura de la tapa de vidrio	57	Centímetros
10	Volumen	4000	Centímetros cúbicos
11	Altura del equipo	113	Centímetros
12	Largo del equipo	123	Centímetros

Fuente: (Sabando, 2017)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

El caudal se lo divide para los cuatro destiladores solares considerados para en el diseño.

La altura estimada de la bandeja destiladora será de 0,07m según las referencias bibliográficas y las pruebas experimentales realizadas. En cuanto al canal recolector del destilado su ancho será de 0,06m y el largo será el mismo a calcularse para la bandeja recolectora.

En base a la búsqueda en todas las referencias bibliográficas no se encontró ecuaciones que especifiquen los cálculos a seguir para determinar las dimensiones de un destilador solar según el caudal requerido, por lo que se aplica las siguientes ecuaciones básicas de las figuras geométricas que forman el destilador.

- Área de la bandeja colectora

Basándonos en el caudal calculado y en la altura recomendada del equipo partimos de la siguiente ecuación para obtener el área de la bandeja:

$$V = h * A$$

Ecuación 7.3

Donde:

V: volumen de la bandeja determinado según caudal de diseño (m<sup>3</sup>).

h: altura de la bandeja (m)

A: área de la bandeja (m<sup>2</sup>)

- Ancho de la bandeja colectora

Para el diseño de la bandeja del destilador se considera que su forma rectangular y también una relación de 3:1 para una mayor área de captación de radiación solar.

$$3 * a = l$$

Ecuación 8.3

Sabiendo q el área de un rectángulo es:

$$A = l * a$$

Ecuación 9.3

Reemplazando la ecuación 8.3 tenemos:

$$A = a * 3 * a$$

$$a = \sqrt{\frac{A}{3}}$$

Ecuación 10.3

Donde:

a: ancho de la bandeja colectora (m)

A: área de la bandeja colectora (m<sup>2</sup>)

- Largo de la bandeja colectora

En base a todas las consideraciones tomadas anteriormente para el cálculo del ancho se tiene la siguiente ecuación:

$$l = 3 * a$$

Ecuación 11.3

Donde:

a: ancho de la bandeja colectora

l: largo de la bandeja colectora

3:1: relación utilizada

- Altura de la estructura soporte

Para la altura de la estructura soporte se toma en cuenta la altura de la bandeja colectora y el espesor de la lana de vidrio (aislante), así como las capas que se utilice del mismo.

$$h = h_B + X_a$$

Ecuación 12.3

Donde:

h: altura de la estructura soporte (m).

$h_B$ : altura de la bandeja colectora (m)

$X_a$ : espesor de la lana de vidrio (m)

- Ancho de la estructura soporte

Para conocer el ancho de la estructura soporte debemos tomar en cuenta el ancho de la bandeja, debido a que esta la contendrá y sostendrá. Además se le sumara las dimensiones consideradas para los canales recolectores del destilado que es 6 centímetros.

$$a_e = a + (c * 2)$$

Ecuación 13.3

Donde:

$a_e$ : ancho de la estructura soporte (m)

a: ancho de la bandeja colectora (m)

canales: ancho del canal (m)

- Largo de la estructura soporte

Al igual que para el ancho de la estructura soporte en el largo se toma las mismas consideraciones en cuanto a la medida de la bandeja y de los canales por donde se recoge el destilado.

$$l = l_B + \text{canales}$$

Ecuación 14.3

Donde:

$l$ : largo de la estructura soporte (m)

$l_B$ : largo de la bandeja colectora (m)

canales: ancho del canal recolector del destilado (m)

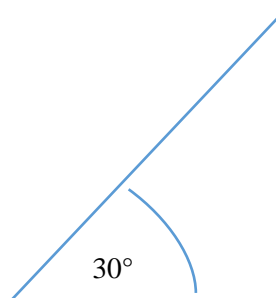
- Ancho y largo base del vidrio para la cubierta

El ancho y largo base del vidrio de la cubierta serán las medidas de la estructura soporte pues este debe sellarla herméticamente para evitar pérdidas de calor.

- Altura del vidrio para la cubierta

Para determinar la altura del vidrio debemos tomar algunas consideraciones como el ángulo que debe tener el mismo para una mayor captación de radiación solar, el ancho de la estructura soporte y que la mejor forma de este debe tener es el de dos vértices.

El ángulo es de 30 %.



Figuras 3-3 Ángulo de inclinación del vidrio

$$\cos 30^\circ = \frac{\text{hipotenusa}}{\frac{a_e}{2}}$$

Ecuación 15.3

$$c^2 = b^2 + a^2$$

Ecuación 16.3

- Área de captación solar de la cubierta

El área de la cubierta de vidrio está formada de cuatro caras; las dos caras de mayor captación solar son en forma de un trapecio, y las caras laterales triangulares. Por lo que para calcular su área se aplica las siguientes fórmulas:

$$A_{v1} = \frac{B + b}{2} * h$$

Ecuación 17.3

Donde:

$A_{v1}$ : área del trapecio caras laterales ( $m^2$ )

B: base mayor del trapecio (m)

b: base menor del trapecio (m)

h: altura del trapecio (m)

$$A_{v2} = \frac{b * c}{2}$$

Ecuación 18.3

Donde:

$A_{v2}$ : área del triángulo caras anterior y posterior ( $m^2$ )

b y c: catetos del triángulo (m).

Para el cálculo del área total se aplica la siguiente formula con los datos de las áreas multiplicadas por 2:

$$A_{CS} = A_{v1} + A_{v2}$$

Ecuación 19.3

### *Dimensionamiento de la radiación solar del equipo*

- Latitud Geográfica

La latitud geográfica debe ser calculada en relación a la posición angular del plano, en grados. El lugar donde va a operar la planta de tratamiento con respecto a la Latitud de Pelileo es: 1° 19.794' S.

- Angulo de Declinación Solar

“El ángulo que forma la línea Tierra-Sol con el plano ecuatorial de la Tierra cambia a medida que la tierra recorre su órbita. Este ángulo es la declinación solar  $\delta$ . Es nulo en los equinoccios y alcanza un máximo de aproximadamente  $\pm 23,45^\circ$  en los solsticios.

De modo que se puede asumir que  $\delta$  permanece constante durante períodos de 24 horas y depende solamente del ordinal-día, n. Los datos de n para un año no bisiesto en base al día representativo de cada mes se muestran a continuación.” (Abal, Versión 2.31)

Tabla 3-3 Días n del año

MES	N	MES	N
Enero	16	Julio	197
Febrero	47	Agosto	228
Marzo	75	Septiembre	259
Abril	106	Octubre	289
Mayo	136	Noviembre	320
Junio	167	Diciembre	350

Fuente: Abal Gonzalo (Abal, Versión 2.31)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

“El ángulo de inclinación se calcula mediante la siguiente ecuación.” (Abal, Versión 2.31):



$$\delta = 23,45^\circ * \sin\left(\frac{360^\circ * (284 + n)}{365}\right)$$

Ecuación 20.3

Donde:

n: día representativo del mes, ver tabla 3-3 (adimensional)

$\delta$ : declinación solar ( $^\circ$ )

- Angulo Horario ( $\omega_s$ )

“Indica el desplazamiento angular del sol, de este a oeste, a una tasa de 15 grados/hora debida a la rotación de la Tierra. Por convención, se considera el ángulo horario nulo en el mediodía solar, negativo en la mañana y positivo por la tarde. Se mide sobre el plano del ecuador. ” (Abal, Versión 2.31).

Se lo calculo mediante la siguiente ecuación (Abal, Versión 2.31):

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\delta) * \tan(\theta)]$$

Ecuación 21.3

Donde:

$\omega_s$ : ángulo del ocaso ( $^\circ$ )

$\delta$ : declinación solar ( $^\circ$ )

$\theta$ : latitud ( $^\circ$ )

- Número de horas de sol teóricas

“Permite obtener el número máximo de horas de sol (en ausencia de nubosidad) para un día y latitud dados.” (Abal, Versión 2.31). “Donde la hora de cada uno es (atardecer positivo y amanecer negativo)  $hora = 12 \pm \frac{\omega_s}{15}$ ; con una duración del día de” (Duffie & Beckman, 1974). Su fórmula es (Duffie & Beckman, 1974):

$$N = \frac{2}{15} * \cos^{-1}(-\tan \delta * \tan \theta) = \frac{2}{15} * \omega_s$$

Ecuación 22.3

Donde:

N: horas de sol teóricas (horas)

$\delta$ : declinación solar ( $^{\circ}$ )

$\theta$ : latitud ( $^{\circ}$ )

$\omega_s$ : ángulo del ocaso ( $^{\circ}$ )

- Irradiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal

“La irradiancia extraterrestre diaria promediada mensualmente  $H_0$ , también es útil, y puede calcularse para latitudes de hasta  $\pm 60^{\circ}$  con la ecuación anterior usando  $n$  y  $d$  para el día promedio del mes. Su fórmula es” (Duffie & Beckman, 1974):

$$H_0 = \frac{24 * G_{sc}}{\pi} \left( \left( 1 + 0,033 * \cos \frac{360 * n}{365} \right) * \left( \cos \phi * \cos \delta * \sin \omega_s + \left( \frac{\pi * \omega_s}{180} \right) * \sin \phi * \sin \delta \right) \right)$$

Ecuación 23.3

Donde:

$G_{sc}$ : constante solar ( $W/m^2$ )

$n$ : día representativo del mes, ver tabla 12.3 (adimensional)

$\omega_s$ : ángulo del ocaso ( $^{\circ}$ )

$H_0$ : irradiación extraterrestre diaria promedio sobre una superficie horizontal ( $W h/m^2$  día)

Por facilidades de cálculo se resume la ecuación a la siguiente (Duffie & Beckman, 1974):

$$H_0 = \frac{24 * G_{sc}}{\pi} (A * B)$$

Ecuación 24.3

Donde:

A y B: son unas constantes que se calcula mediante las siguientes ecuaciones obtenidas de la ecuación general (Huezo & Morán, 2012).

$$A = 1 + 0,033 * \cos \frac{360 * n}{365}$$

Ecuación 25.3

$$B = \cos \varnothing * \cos \delta * \sin \omega S + \left( \frac{\pi * \omega S}{180} \right) * \sin \varnothing * \sin \delta$$

Ecuación 26.3

- Radiación diaria solar promedio terrestre sobre superficie horizontal

“La radiación solar promedio es la relación entre las horas de sol y la radiación solar” (Duffie & Beckman, 1974). La heliofanía (nr) u horas de sol diarias presenta los siguientes datos en los últimos años:

Tabla 4-3 Heliofanía

Meses	2015	2016	Promedio
Enero	4,9	4,1	4,5
Febrero	5,8	4,8	5,3
Marzo	3,4	3,2	3,3
Abril	5,25	4,85	5,1
Mayo	4,49	4,22	4,4
Junio	6,03	0,64	3,3
Julio	5,65	4,84	5,2
Agosto	6,33	5,27	5,8
Septiembre	6,79	5,14	6,0
Octubre	5,55	4,59	5,1
Noviembre	4,72	4,26	4,5
Diciembre	6,09	5,79	5,9
<b>Promedio</b>			4,86

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2016)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

“La ecuación para cálculo de la radiación diaria solar es:” (Duffie & Beckman, 1974):

$$H = H_0 * \left[ a + b * \left( \frac{nr}{N} \right) \right]$$

Ecuación 27.3

Donde:

$H_0$ : radiación diaria solar promedio extraterrestre sobre una superficie horizontal (W h/m<sup>2</sup> día)

nr: número de horas de luz solar real, ver tabla 4-3 (heliofanía).

N: número de horas de sol teóricas

a y b: constantes de Angstrom, ver tabla 5-3 (adimensional)

H: radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal (W\*h/m<sup>2</sup> día)

Tabla 5-3 Datos de constantes para el cálculo de la radiación solar

A	0,23	Constantes del Modelo de Armstrong Modificada
B	0,56	

Fuente: (Rodríguez & Saavedra, 2008)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

- Índice de claridad

“El índice de claridad es un parámetro que mide la transparencia de la atmosfera, se usa para medir la radiación, es la relación entre la radiación solar promedio y la radiación extraterrestre. Su ecuación es:” (Duffie & Beckman, 1974):

$$KT = \frac{H}{H_0}$$

Ecuación 28.3

Donde:

KT: índice de claridad (adimensional)

H: radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal (W h/m<sup>2</sup> día)

H<sub>0</sub>: irradiación extraterrestre diaria promedio sobre una superficie horizontal (W h/m<sup>2</sup> día)

- Radiación diaria difusa

“La radiación solar difusa es la recepta desde el sol y al momento de ser reflejada en la atmosfera y difundida en diferentes trayectorias, se calcula por el índice de claridad propuesto por Lui y Jordan (1960). Se calcula con la siguiente ecuación:” (Duffie & Beckman, 1974)

$$Hd = H * (1,39 - 4,03 * KT + 5,53 * KT^2 - 3,11 * KT^3)$$

Ecuación 29.3

Donde:

H: radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal (W h/m<sup>2</sup> día).

KT: índice de claridad (adimensional)

Hd: radiación diaria difusa (W h/m<sup>2</sup> día).

- Radiación diaria solar directa

“La radiación solar directa en la receptada desde el sol con una dirección sin cambio al llegar a la atmosfera., se calcula por la radiación difusa y la radiación solar diaria. Su ecuación es:”

(Duffie & Beckman, 1974):

$$Hb = H - Hd$$

Ecuación 30.3

Donde:

H: radiación diaria solar terrestre sobre una superficie horizontal (W h/m<sup>2</sup> día).

Hd: radiación diaria difusa promedio (W h/m<sup>2</sup> día).

Hb: radiación diaria solar directa promedio (W h/m<sup>2</sup> día).

- Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

“El factor de cambio es la radiación directa sobre una superficie inclinada al promedio de la misma magnitud de una superficie horizontal. Su ecuación es la siguiente” (Duffie & Beckman,

1974):

$$R_p = \frac{\sin(\delta) * \sin(\phi - \beta) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos(\delta) * \cos(\phi - \beta) * [\sin(15 * t_1) - \sin(15 * t_2)]}{\sin(\delta) * \sin(\phi) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos(\delta) * \cos(\phi) * [\sin(15 * t_1) - \sin(15 * t_2)]}$$

Ecuación 31.3

Donde:

R<sub>p</sub>: factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día. (°)

$\beta$ : ángulo de inclinación de la cubierta de vidrio  $30^\circ$

$\Phi$ : latitud ( $^\circ$ )

$\delta$ : declinación solar ( $^\circ$ )

$t_2$ : tiempo final (16 h)

$t_1$ : tiempo inicial (9 h)

- Radiación directa sobre una superficie inclinada

“La radiación directa en una superficie inclinada se calcula a base de la radiación directa en una superficie horizontal y el factor de cambio. Su ecuación es la siguiente” (Duffie & Beckman, 1974):

$$Hb_T = Hb * R_b$$

Ecuación 32.3

Donde:

$Hb_T$ : radiación solar directa horaria en una superficie horizontal ( $W\ h/m^2\ día$ ).

$R_b$ : Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día ( $^\circ$ ).

$Hb_T$ : radiación directa sobre una superficie inclinada ( $W\ h/m^2\ día$ ).

- Radiación difusa sobre una superficie inclinada

“La radiación difusa sobre una superficie inclinada y la de la superficie horizontal son distintas ya que la radiación difusa inclinada no mira hacia toda la bóveda. Su ecuación es la siguiente” (Sabando, 2017):

$$Hd_T = Hd * \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$$

Ecuación 33.3

Donde:

$Hd$ : radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal ( $W\ h/m^2\ día$ ).

$\beta$ : ángulo de inclinación del vidrio ( $30^\circ$ )

$Hd_T$ : radiación difusa sobre una superficie inclinada ( $W\ h/m^2\ día$ ).

- Radiación reflejada por el suelo

“La radiación reflejada por el suelo se mide de acuerdo a que el destilador está colocado sobre este y recibe radiación directa y difusa reflejada sobre el terreno. Su ecuación es” (Sabando, 2017):

$$Hr_T = \rho * H * \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$$

Ecuación 34.3

Donde:

$\rho$ : albedo 0,20 (adimensional)

H: radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal (W h/m<sup>2</sup> día).

$\beta$ : ángulo de inclinación del vidrio (30°)

- Estimación de la radiación solar en una superficie inclinada

“La radiación solar total sobre una superficie inclinada  $\beta$  con respecto al plano inclinado, es la sumatoria de las componentes de radiación solar directa, difusa, reflejada por el suelo. Su ecuación es” (Duffie & Beckman, 1974):

$$H_T = Hb_T + Hd_T + Hr_T$$

Ecuación 35.3

Donde:

$H_T$ : radiación solar en una superficie inclinada (W h/m<sup>2</sup> día).

$Hb_T$ : radiación directa sobre una superficie inclinada (W h/m<sup>2</sup> día).

$Hd_T$ : radiación difusa sobre una superficie inclina (W h/m<sup>2</sup> día).

$Hr_T$ : radiación reflejada por el suelo (W h/m<sup>2</sup> día).

Todas estas ecuaciones se deben aplicar para el día representativo de cada uno de los meses del año. (Ver tabla 3-.3)

*Cálculos de la energía solar disponible para la transferencia de calor y masa*

A continuación se detalla los valores de las constantes a utilizar en los cálculos posteriores:

Tabla 6-3 Valores de las constantes

Constante	Valor	Descripción	Referencia
$T_w$	$57,24\text{ }^{\circ}\text{C} = 330,39\text{ }^{\circ}\text{K}$	Temperatura del agua	Morales Lizeth
$T_{w_e}$	$16\text{ }^{\circ}\text{C} = 289,15\text{ }^{\circ}\text{K}$	Temperatura de entrada del agua	(Sabando, 2017)
$T_a$	$15\text{ }^{\circ}\text{C} = 288,15\text{ }^{\circ}\text{K}$	Temperatura ambiente	Morales Lizeth
$X_3$	0,002 m	Espesor del hierro	(Rodríguez & Saavedra, 2008)
$K_3$	$60,4\frac{W}{m^{\circ}K}$	Conductividad térmica del hierro	(Huezo & Morán, 2012)
$X_2$	0,05 m	Espesor de lana de vidrio	(Sabando, 2017)
$K_2$	$0,04\frac{W}{m^{\circ}K}$	Conductividad térmica de lana de vidrio	(Sabando, 2017)
$X_1$	0,002 m	Espesor del acero inoxidable	(Sabando, 2017)
$K_1$	$16,3\frac{W}{m^{\circ}K}$	Conductividad térmica del acero inoxidable	(Sabando, 2017)
$W$	1,93 m/s	Velocidad del viento promedio	(Sabando, 2017)
$P_v$	17,633 KPa	Presión del vapor de agua a la temperatura del vidrio	(Sabando, 2017)
$P_w$	11,08 KPa	Presión del vapor de agua a la temperatura del agua	(Sabando, 2017)
$H_r$	72,5 %	Humedad relativa	(Sabando, 2017)
$\Sigma$	$5,670 \times 10^{-8}\frac{W}{m^2K^4}$	Constante de Stefan Boltzmann	(Duffie & Beckman, 1974)
$T_v$	$37\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura del vidrio	Morales Lizeth (ver anexo A)
$T_b$	$59,43\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura de la superficie colectora	Morales Lizeth (ver anexo A)
$E_w$	0,96	Emisividad del agua	(Huezo & Morán, 2012)
$E_a$	0,2	Emisividad del acero inoxidable	(Sabando, 2017)
$E_v$	0,8	Emisividad del vidrio	(Huezo & Morán, 2012)
$K_w$	$26300\frac{W}{m^{\circ}C}$	Conductividad térmica del agua	(Rodríguez & Saavedra, 2008)
$\rho_a$	$0,92\frac{kg}{m^3}$	Densidad del aire	(Sabando, 2017)
$M$	$1,789 \times 10^{-5}Pa\ s$	Viscosidad del aire	(Sabando, 2017)
$C_{pa}$	$1,005\frac{kJ}{Kg\text{ }^{\circ}K}$	Calor específico del aire	(Sabando, 2017)
$\Lambda$	$2365234,4\frac{J}{kg}$	Entalpia de evaporación	Morales Lizeth
$P_T$	101325 Pa	Presión total	(Rodríguez & Saavedra, 2008)
$A$	$6\text{ m}^2$	Área de captación	Morales Lizeth
$E_v$	0,004 m	Espesor del vidrio	(Sabando, 2017)
$P$	0,15 - 0,25	Valor del albedo	(Sabando, 2017)
$T_{dp}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C} = 293,15\text{ }^{\circ}\text{K}$	Temperatura de rocío	Lizeth Morales
$T_w$	$55\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura de equilibrio del agua	(Rodríguez & Saavedra, 2008)

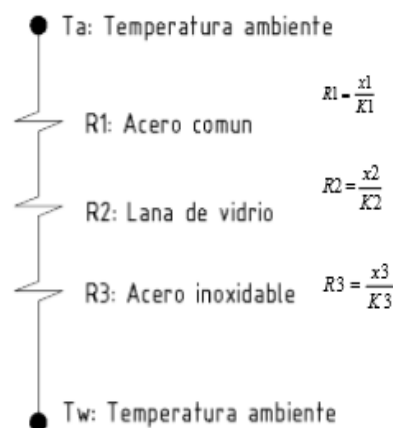


P <sub>v</sub>	2500 $\frac{kg}{m^3}$	Densidad del vidrio	(Rodríguez & Saavedra, 2008)
h <sub>a</sub>	10 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	Coefficiente convectivo del aire	(Sabando, 2017)
h <sub>w</sub>	3000 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	Coefficiente convectivo del agua	(Sabando, 2017)
C <sub>pv</sub>	0,80 $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ K}$	Calor específico del vidrio	(Sabando, 2017)
C <sub>p</sub>	4,22 $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ K}$	Calor específico del agua	(Rodríguez & Saavedra, 2008)
ρ agua	983 $\frac{kg}{m^3}$	Densidad del agua residual	(Sabando, 2017)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

- Resistencia térmica equivalente

“Para obtener el valor de  $q_c$ , se debe calcularla resistencia térmica de las paredes del aislante ( $R_{eq}$ ), la base del colector del agua es de acero inoxidable y como aislante lana de vidrio para evitar la pérdida de calor, la base de la estructura donde se monta el destilador es de hierro. Se calcula por medio de la siguiente ecuación” (Duffie & Beckman, 1974):



Figuras 4-3 Analogía eléctrica del sistema

Fuente: Rodríguez Roberto, Saavedra Wilson (Rodríguez & Saavedra, 2008)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

$$R_{eq} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}$$

Ecuación 36.3

Donde:

$R_{eq}$ : resistencia térmica equivalente ( $m^2 \cdot K/W$ )

$x_1$ : Espesor plancha acero inoxidable (m)

$X_2$ : Espesor plancha lana de vidrio (m)

$X_3$ : Espesor plancha hierro tol (m)

$k_1$ : Coeficiente de conductividad térmica acero inoxidable ( $m^2\text{°K/W}$ )

$k_2$ : Coeficiente de conductividad térmica lana de vidrio ( $m^2\text{°K/W}$ )

$k_3$ : Coeficiente de conductividad térmica hierro ( $m^2\text{°K/W}$ )

- Coeficiente de transferencia de calor convectivo

“Se lo realiza para calcular pérdidas de calor por convección, este depende de la velocidad del viento. Su ecuación es” (Duffie & Beckman, 1974):

$$hct = 5,7 + 3,8 * w$$

Ecuación 37.3

Donde:

hct: coeficiente de calor convectivo ( $W/m^2 \text{°K}$ )

w: velocidad del viento (m/s)

- Resistencia térmica equivalente del aislante

“Para calcular se necesita el coeficiente convectivo de calor  $hct$  y la resistencia térmica del aislante  $R_{eq}$ .” (Duffie & Beckman, 1974)

$$Kb = \frac{1}{Req + \frac{1}{h_{ct}}}$$

Ecuación 38.3

Donde:

Kb: resistencia térmica equivalente del aislante ( $W/m^2\text{°K}$ )

Req: resistencia térmica equivalente ( $m^2\text{°K/W}$ )

hct: coeficiente de calor convectivo ( $W/m^2 \text{°K}$ )

- Transferencia de calor por conducción

“El equipo de destilación solar se encuentra ubicado sobre una estructura metálica elevada del suelo, debido a esto existen pérdidas de calor por conducción en la base y en las paredes; sin embargo, en las paredes la pérdida es mínima.

Se enfoca en la base del destilador, la transferencia de calor se basa en los sistemas unidimensionales a través de la pared plana compuesta y su analogía eléctrica, se calcula mediante la siguiente fórmula:” (Duffie & Beckman, 1974)

$$q_c = K_b * (T_w - T_a)$$

Ecuación 39.3

Donde:

$q_c$ : calor por conducción (W/m<sup>2</sup>)

$K_b$ : Resistencia térmica equivalente del aislante (m<sup>2</sup> °K/W)

$T_w$ : Temperatura del agua (°K)

$T_a$ : Temperatura ambiente (°K)

- Temperatura del cielo

“La temperatura del cielo normalmente es importante en las horas de 6 pm – 6 am ya que su temperatura regular es de -10°C. Su ecuación es la siguiente” (Sabando, 2017):

$$T_s = T_a * \left( 0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right)^{0.25}$$

Ecuación 40.3

Dónde:

$T_a$ : Temperatura ambiente (°K)

$T_{dp}$ : Temperatura de rocío (°K)

- Transferencia de calor por radiación en el vidrio

Se calcula mediante la siguiente ecuación (Duffie & Beckman, 1974):

$$q_{r_v} = \varepsilon_v * \sigma * [T_v^4 - T_s^4]$$

Donde:

$q_{rv}$ : calor por radiación en el vidrio ( $W/m^2$ )

$\varepsilon_v$ : Emisividad del vidrio (adimensional)

$\sigma$  : Constante de Stefan Boltzman ( $W/m^2 \cdot K$ )

$T_g$ : Temperatura del vidrio ( $^{\circ}K$ )

$T_s$ : Temperatura del cielo ( $^{\circ}K$ )

- Cálculo del calor perdido por convección del vidrio

Se calcula por medio de la siguiente ecuación sabiendo que  $h_{cv} = h_{ct}$  (Duffie & Beckman, 1974):

$$q_{cv} = h_{cv} * (T_v - T_a)$$

Donde:

$q_{cv}$ : calor perdido por convección del vidrio ( $W/m^2$ )

$h_{cv}$ : Coeficiente de transferencia de calor convectivo del vidrio ( $W/m^2 \cdot K$ )

$T_v$ : Temperatura del vidrio ( $^{\circ}K$ )

- Calor perdido por radiación del agua

“Se efectúa entre superficies paralelas y se calcula con la siguiente ecuación:” (Sabando, 2017)

$$q_{rw} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1} [T_w^4 - T_a^4]$$

Donde:

$q_{rw}$ : calor perdido por radiación del agua ( $W/m^2$ )

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzman ( $W/m^2 \cdot K$ ).

$\varepsilon_w$ : Emisividad del agua (adimensional)

$\varepsilon_v$ : Emisividad del vidrio (adimensional)

- Coeficiente de transferencia de calor por convección natural

“Es el calor perdido entre el agua y la cubierta, calculado por la siguiente ecuación” (Duffie & Beckman, 1974):

$$h_c = 0,884 * \left( T_w - T_v + \frac{P_w - P_{w_v}}{268,9 \times 10^3 - P_w} * (T_w + 273) \right)^{1/3}$$

Ecuación 44.3

Donde:

$h_c$ : coeficiente de transferencia de calor por convección natural (W/m<sup>2</sup>°K)

$P_w$ : Presión saturada de vapor de agua a la temperatura del agua (Pa)

$P_{w_v}$ : Presión saturada de vapor de agua a la temperatura del vidrio (Pa)

$T_v$ : Temperatura del vidrio (°K)

$T_w$ : Temperatura del agua (°K)

- Coeficiente de radiación efectivo

Se calcula mediante la siguiente ecuación (Sabando, 2017):

$$h_r = \frac{\varepsilon_B * \sigma * (T_v^4 - T_w^4)}{(T_v - T_w)}$$

Ecuación 45.3

Donde:

$h_r$ : coeficiente de radiación efectiva (W/m<sup>2</sup>°K)

$\varepsilon_b$ : Emisividad de acero inoxidable de la bandeja colectora (adimensional)

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzman (W/m<sup>2</sup>°K).

$T_v$ : Temperatura del vidrio (°K)

$T_w$ : Temperatura del agua (°K)

- Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua

“Sabido que  $h_r < h_c$  tenemos que el coeficiente de transferencia de calor por convección total se calcula con la siguiente ecuación:” (Sabando, 2017)

$$h_T = h_c + \frac{3}{4} h_r$$

Ecuación 46.3

Donde:

$h_T$ : Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua ( $W/m^2\text{°K}$ ).

$h_c$ : coeficiente de transferencia de calor por convección natural ( $W/m^2\text{°K}$ ).

$h_r$ : coeficiente de radiación efectiva ( $W/m^2\text{°K}$ ).

- Calor perdido por convección del agua (natural)

Se lo calcula mediante la siguiente “ecuación” (Sabando, 2017):

$$qc_w = h_T * (T_w - T_v)$$

Ecuación 47.3

Donde:

$qc_w$ : calor perdido por convección del agua ( $W/m^2$ )

$h_T$ : Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua ( $W/m^2\text{°K}$ ).

$T_v$ : Temperatura del vidrio ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_w$ : Temperatura del agua ( $^{\circ}\text{K}$ )

- Calor perdido por evaporación

“El calor perdido por evaporación es generado a partir del agua que se encuentra en el destilador, se requiere calcular el flujo de calor por evaporación mediante la siguiente ecuación” (Sabando, 2017):

$$qe = h_e * (P_w - P_v)$$

Ecuación 48.3

Donde:

$q_e$ : calor perdido por evaporación ( $W/m^2$ )

$h_e$ : coeficiente de transferencia de calor por evaporación ( $W/m^2 \cdot K$ ).

$P_w$ : Presión de vapor del agua a la temperatura del agua (Pa)

$P_v$ : Presión de vapor del agua a la temperatura del vidrio (Pa)

$h_e = 0,013h_T$  Sustituyendo la ecuación del coeficiente de transferencia de calor por evaporación tenemos (Duffie & Beckman, 1974):

$$q_e = 0,013h_T * (P_w - P_v)$$

Ecuación 49.3

Donde:

$q_e$ : calor perdido por evaporación ( $W/m^2$ )

$h_T$ : coeficiente de transferencia de calor por evaporación ( $W/m^2 \cdot K$ ).

$P_w$ : Presión de vapor del agua a la temperatura del agua (Pa)

$P_v$ : Presión de vapor del agua a la temperatura del vidrio (Pa)

- Calor almacenado por la cubierta

“La radiación  $G_s$  al llegar al vidrio sufre reflexión, absorción y transmitancia con el factor  $\alpha_g$  que incluye la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio.

$$\alpha_g * G_s = 0,1 * 5101,28 \frac{w \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

Ecuación 50.3

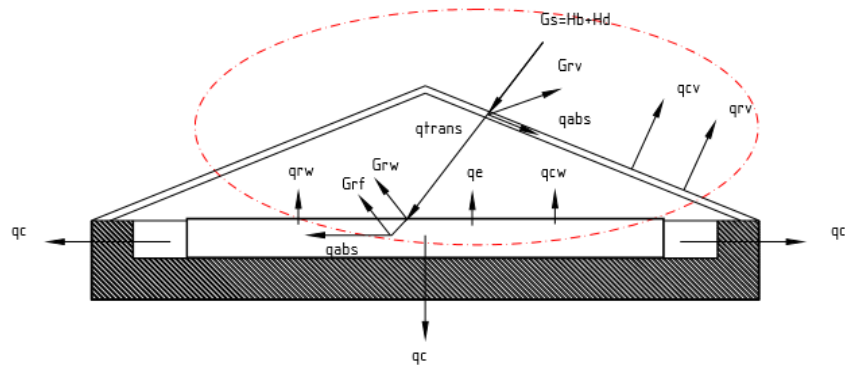
Considerando la heliofanía promedio se tiene que:

$$\alpha_g * G_s = 0,1 * 5101,28 \frac{w \cdot h}{m^2 \cdot día} * \frac{1 \text{ día}}{4,9 \text{ hr}}$$

Por lo tanto la radiación que llega al vidrio será” (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$\alpha g * G_s = 0,1 * 1041,08 \frac{W}{m^2}$$

“Para calcular el calor almacenado por la cubierta se realiza el balance de calor según el círculo q muestra la ilustración siguiente sobre la cubierta:” (Rodríguez & Saavedra, 2008)



Figuras 5-3 Balance de energía sobre el vidrio

Fuente: Rodríguez Roberto, Saavedra Wilson (Rodríguez & Saavedra, 2008)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

#### Balance de energía sobre el vidrio

*energía que entra – energía que sale = energía almacenada*

$$qr_w + qc_w + qe + \alpha g * G_s - (qr_v + qc_v) = q'c$$

Ecuación 51.3

Donde:

$q'c$ : calor almacenado por la cubierta ( $W/m^2$ )

$qe$ : calor perdido por evaporación ( $W/m^2$ )

$qc_w$ : calor perdido por convección del agua ( $W/m^2$ )

$qr_w$ : calor perdido por radiación del agua ( $W/m^2$ )

$qc_v$ : calor perdido por convección del vidrio ( $W/m^2$ )

$qr_v$ : calor por radiación en el vidrio ( $W/m^2$ )

- Cálculo del calor absorbido por el agua

“Realizando el balance de calor sobre el agua según el círculo que se muestra en la siguiente figura se tiene:” (Rodríguez & Saavedra, 2008)



### Figuras 6-3 Balance de calor sobre el agua

Fuente: Rodríguez Roberto, Saavedra Wilson (Rodríguez & Saavedra, 2008)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

#### Balance de calor sobre el agua

*energía que entra – energía que sale = energía almacenada*

$$Gs * (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_a) - (qr_w + qc_w + qe + qc) = q'a$$

Ecuación 52.3

Datos:

$q'a$ : calor absorbido por el agua ( $W/m^2$ )

$\alpha_g$ : 0,1 (adimensional)

$\alpha_a$ : 0,3 (adimensional)

$qc_w$ : calor perdido por convección del agua ( $W/m^2$ )

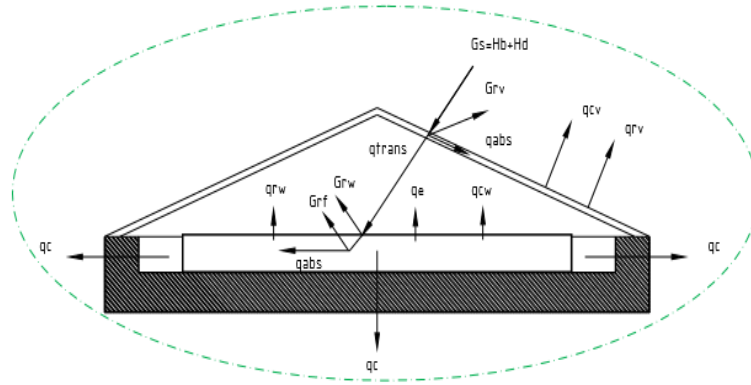
$qr_w$ : calor perdido por radiación del agua ( $W/m^2$ )

$qe$ : calor perdido por evaporación ( $W/m^2$ )

$qc$ : calor por conducción ( $W/m^2$ )

- Calor absorbido por el sistema

“Se realiza el balance de masa según muestra la ilustración siguiente:” (Rodríguez & Saavedra, 2008)



Figuras 7-3 Balance global de energía sobre el dispositivo

Fuente: Rodríguez Roberto, Saavedra Wilson (Rodríguez & Saavedra, 2008)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

### Balance global de energía sobre el dispositivo

*energía que entra – energía que sale = energía almacenada*

$$Gs * (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_a) + \alpha_g * G_s - (q_{rv} + q_{cv} + q_c) = q'_c + q'_a$$

Ecuación 53.3

“Siendo el calor almacenado por unidad de área se tiene” (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$q_t = q'_c + q'_a$$

Ecuación 54.3

Donde:

$q_t$ : calor almacenado por unidad de área ( $W/m^2$ )

$q'_c$ : calor almacenado por la cubierta ( $W/m^2$ )

$q'_a$ : calor absorbido por el agua ( $W/m^2$ )

“Al expresarlo en función del área del colector solar, se tiene que la capacidad de calor almacenada por el dispositivo se calcula con la siguiente ecuación” (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$Q_T = q_t * A$$

Ecuación 55.3

Donde:

$Q_T$ : calor almacenado en función del área del colector (W)

$q_t$ : calor almacenado por unidad de área ( $W/m^2$ )

$A$ : área de la bandeja colectora ( $m^2$ )

- Calor necesario para calentar y evaporar

Su fórmula es (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$Q_{cv} = mv * C_{p_v} * (T_v - T_a)$$

Ecuación 56.3

Donde:

$Q_{cv}$ : calor necesario para calentar y evaporar (W), se utiliza el valor de la heliofanía para obtener las unidades finales.

$m_v$ : masa del vidrio (kg)

$C_{p_v}$ : calor específico del vidrio ( $J/kg^{\circ}K$ )

$T_v$ : temperatura del vidrio ( $^{\circ}K$ )

$T_a$ : Temperatura ambiente ( $^{\circ}K$ )

“Antes de calcular el calor necesario para calentar y evaporar se debe calcular la masa del vidrio en función del área mediante la siguiente ecuación” (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$mv = \rho_v * A_v * E_v$$

Ecuación 57.3

Donde:

$m_v$ : masa del vidrio (kg)

$\rho_v$ : densidad del vidrio ( $kg/m^3$ )

$A_v$ : área del vidrio ( $m^2$ )

$E_v$ : espesor del vidrio (m)

- Calor necesario para calentar el agua

Su fórmula es (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$Q_{ca} = ms * Cp * (T_w - T_a)$$

Ecuación 58.3

“Se debe calcular antes la masa del agua en el colector mediante la siguiente ecuación”  
(Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$ms = \rho_w * V$$

Ecuación 59.3

Donde:

$Q_{ca}$ : calor necesario para calentar el agua (W), se utiliza el valor de la heliofanía para obtener las unidades finales.

$ms$ : masa del agua en el colector (kg)

$Cp$ : calor específico del agua (J/kg<sup>°K</sup>)

$T_w$ : temperatura del agua (°K)

$T_a$ : Temperatura ambiente (°K)

$\rho_w$ : densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

$V$ : volumen de la bandeja colectora (m<sup>3</sup>)

- Calor necesario para evaporar un porcentaje del total de la masa del agua

Su fórmula es (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$Q_{ev} = x * ms * \lambda$$

Ecuación 60.3

Donde:

$Q_{ev}$ : calor necesario para evaporar un porcentaje del total de la masa del agua (W), se utiliza el valor de la heliofanía para obtener las unidades finales.

$x$ : porcentaje evaporado (%)

$ms$ : masa del agua (kg)

$\lambda$ : entalpia de vaporización a  $T_w$  (J/kg)

“Primero se debe calcular de la masa evaporada considerando que no existe perdidas de calor  $\alpha S=0$ , con la siguiente ecuación” (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$m_{ev} = \frac{G_{sc} * A * (t - t_1)}{l_v}$$

Ecuación 61.3

Donde:

t: instante de evaporación para calcular

t<sub>1</sub>: tiempo de evaporación a temperatura ambiente

l<sub>v</sub>: calor de evaporación de agua

A: área de captación solar

“Para el cálculo de t<sub>1</sub> se aplica la siguiente ecuación” (O’connell & Franco García, 1999):

$$t_1 = \frac{m_s * c_p * (100 - T_a)}{G_{sc} * A}$$

Ecuación 62.3

Donde:

m<sub>s</sub>: masa del agua (kg)

C<sub>p</sub>: calor específico del agua (J/kg°C)

T<sub>a</sub>: temperatura ambiente (°C)

G<sub>sc</sub>: constante solar (W/m<sup>2</sup>)

A: área de la bandeja colectora (m<sup>2</sup>)

“Una vez obtenido el valor de m<sub>ev</sub> se calcula el porcentaje de masa evaporada mediante la siguiente ecuación” (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$x = \frac{m_{ev}}{m_s}$$

Ecuación 63.3

Donde:

X: porcentaje de evaporación (%)

$m_{ev}$ : masa evaporada (kg)

$m_s$ : masa del agua (kg)

- Calor almacenado por el dispositivo  $Q_N$

“Finalmente tenemos la cantidad necesaria para calentar el vidrio, calentar el agua de la bandeja y evaporar cierto porcentaje de la misma, que se calcula con la siguiente ecuación” (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$Q_N = Q_{cv} + Q_{ca} + Q_{ev}$$

Ecuación 64.3

Donde:

$Q_N$ : calor almacenado por el dispositivo (W)

$Q_{cv}$ : calor necesario para calentar y evaporar (W)

$Q_{ca}$ : calor necesario para calentar el agua (W)

$Q_{ev}$ : calor necesario para evaporar un porcentaje del total de la masa del agua (W)

- Producción del destilador solar teórica

Su fórmula es (Rodríguez & Saavedra, 2008):

$$Me = \frac{Q_T}{\lambda}$$

Ecuación 65.3

Donde:

$Me$ : producción del destilador solar teórica (kg/s)

$Q_T$ : calor almacenado en función del área del colector (W)

$\lambda$ : entalpía de vaporización a  $T_w$  (J/kg)

- Eficiencia teórica

$$Eficiencia_{teórica} = \frac{Q}{G_s * A} * 100$$

Ecuación 66.3

Donde:

Q: energía total almacenada por el sistema (w)

$$Q = Q_T + Q_N$$

Q<sub>T</sub>: calor almacenado en función del área del colector (W)

Q<sub>N</sub>: calor almacenado por el dispositivo (W)

G<sub>s</sub>: energía solar total captada por el sistema (W/m<sup>2</sup>)

A: área de la bandeja colectora (m<sup>2</sup>)

“Todos estos valores pueden ser afectados debido a factores que no se puede normalizar como: el movimiento de las nubes y las precipitaciones, lo que conlleva una disminución en la destilación teórica” (Rodríguez & Saavedra, 2008).

### 3.2.3.7 Humedales artificiales

“Los Humedales artificiales (HA) son sistemas que simulan una zona de transición entre el ambiente terrestre y el acuático, pero son específicamente contruidos para el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones controladas de ubicación, dimensionamiento y capacidad de tratamiento. Son un tipo de tratamiento biológico.” (Romero, et al., 2009)

“Las profundidades típicas de estas extensiones de tierras son de 0,60 m o un rango de 0,3m a 0,9m donde crecen plantas emergentes que contribuye a la reducción de contaminantes a través de procesos aerobios de degradación.” (Gómez & Llagas, 2006)

“Entre las ventajas de este sistema se encuentra el bajo costo de instalación y mantenimiento, comparado con sistemas físicos, químicos y biológicos convencionales. Los HA son especialmente eficaces en la eliminación de contaminantes del agua, como son sólidos suspendidos, N, P, hidrocarburos y metales. Son una tecnología efectiva y segura para el

tratamiento y recirculación del agua si se mantienen y operan adecuadamente.” (Romero, et al., 2009)

### *Funciones de los humedales artificiales*

- **“Proceso de remoción físico:** proporciona una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado. La sedimentación de los sólidos suspendidos se promueve por la baja velocidad de flujo y por el hecho de que el flujo es con frecuencia laminar.” (Gómez & Llagas, 2006)

“La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos es proporcional a la velocidad de particulado fijo y la longitud del HA.” (Gómez & Llagas, 2006)

- **“Proceso de remoción biológico:** La remoción biológica es quizá el camino más importante para la remoción de contaminantes en los HA. Los contaminantes que son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, son tomados fácilmente por las plantas del HA.” (Gómez & Llagas, 2006)

“La velocidad de remoción de contaminante por las plantas varía extensamente, dependiendo de la velocidad de crecimiento de la planta y de la concentración del contaminante en tejido de planta.” (Gómez & Llagas, 2006)

“En los HA, el material de la planta muerta, conocido como detritus o basura, se acumula en la superficie del suelo. Algunos de los nutrientes, metales u otros elementos eliminados previamente del agua por captación de la planta son pérdidas del detritus de la planta por la lixiviación y descomposición, y reciclados nuevamente dentro del agua y del suelo. La lixiviación de contaminantes solubles en agua puede ocurrir rápidamente en la muerte de la planta, mientras que una pérdida más gradual de contaminantes ocurre durante la descomposición del detritus por las bacterias y otros organismos. Los descompuestos microbianos, sobre todo bacterias del suelo, utilizan el carbono (C) de la materia orgánica como fuente de energía, convirtiéndola a gases de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o metano (CH<sub>4</sub>).” (Gómez & Llagas, 2006)



“La eficiencia y la velocidad de degradación orgánica de C por los microorganismos es altamente variable para los diversos tipos de compuestos orgánicos. El metabolismo microbiano también produce la remoción de nitrógeno inorgánico, es decir, nitrato y amonio, en los HA. Bacterias especializadas (*pseudomonas* sp.) transforman metabólicamente el nitrato en gas nitrógeno ( $N_2$ ), un proceso conocido como desnitrificación. El  $N_2$  se pierde posteriormente a la atmósfera.” (Gómez & Llagas, 2006)

- **“Proceso de remoción químico:** El proceso químico más importante es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes. La absorción es un término ampliamente definido para la transferencia de los iones (moléculas con cargas positivas o negativas) a partir de la fase de la solución (agua) a la fase sólida (suelo). La absorción describe realmente un grupo de procesos, que incluye reacciones de adsorción y de precipitación. Muchos componentes de las aguas residuales y de escurrimiento existen como cationes, incluyendo el amonio ( $NH_4^+$ ) y la mayoría de trazas de metales, tales como cobre ( $Cu^{+2}$ ).” (Gómez & Llagas, 2006)

“Un número de metales y de compuestos orgánicos se puede inmovilizar en el suelo vía la absorción química de las arcillas, los óxidos de hierro y aluminio, y materia orgánica. El fosfato también puede unirse con la arcilla y los óxidos de Fe y Al a través de la absorción química. El fosfato puede también precipitarse con los óxidos de hierro y aluminio para formar un nuevo mineral compuesto (fosfatos de Fe y Al).” (Gómez & Llagas, 2006)

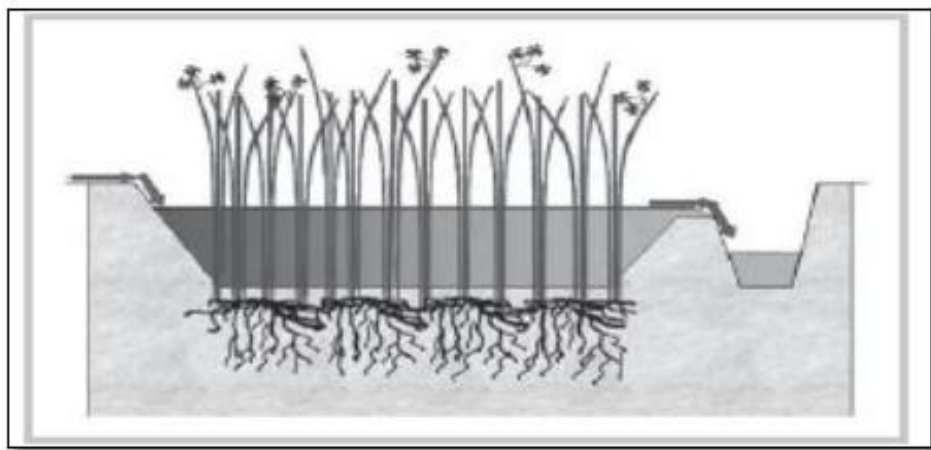
“La volatilización, que implica la difusión de un compuesto disuelto desde el agua en la atmósfera, es otro mecanismo potencial de la remoción del contaminante en los HA. La volatilización del amoníaco ( $NH_3$ ) puede dar lugar a la remoción significativa de nitrógeno, si el pH del agua es alto (mayor que 8,5). Sin embargo, a pH más bajo cerca de 8,5, el nitrógeno del amoníaco existe casi exclusivamente en forma ionizada (amonio,  $NH_4^+$ ), que no es volátil. Aunque la volatilización puede remover con eficacia ciertos contaminantes del agua, también resulta en cierto grado contaminante para el aire con los mismos contaminantes.” (Gómez & Llagas, 2006)

Existen dos tipos de humedales:

- Sistema de agua superficial libre

“Los humedales de flujo subsuperficial consisten en una tecnología natural de bajo costo, la depuración se consigue gracias a varios fenómenos físicos, químicos y biológicos, tanto en el relleno solido (substratos), como en la parte del rizoma de las plantas, estas plantas macrófitas acuáticas emergentes realizan varias funciones entre las que se destacan el transporte de gases desde la atmósfera hacia los sustratos.” (Cueva & Rivadeñeira, 2013)

“Los humedales de este tipo inician y terminan con zonas de vegetación emergente liviana, para que se asegure el tratamiento y la remoción de los materiales a ser tratados. Comúnmente los humedales de flujo libre utilizan un tratamiento preliminar.” (Fonseca, 2010)



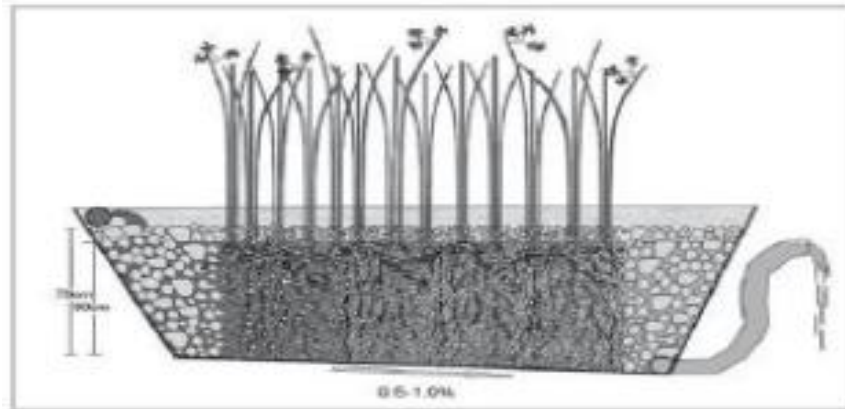
Figuras 8-3 Sistema de aguas superficial libre

Fuente: Lalangui Darwin (Lalangui, 2015)

- Sistemas de flujo bajo la superficie

“Estos sistemas son similares a los filtros horizontales por goteo en las plantas de tratamiento convencionales. Se caracterizan por el crecimiento de plantas emergentes usando el suelo, grava o piedras como sustrato de crecimiento en el lecho del canal. Dentro del lecho los microbios facultativos atacan al medio y las raíces de las plantas, contactando de este modo el agua residual que fluye horizontalmente a través del lecho; mientras que el sobrante baja a la superficie del medio.” (Gómez & Llagas, 2006)

“Cuando el tiempo de retención es mayor a 10 días se puede suponer que la temperatura del agua será muy similar a la temperatura promedio del aire.” (Fonseca, 2010)



Figuras 9-3 Sistema de flujo bajo la superficie

Fuente: (Lalanguí, 2015)

### *Impermeabilización*

“Los dos tipos de humedales artificiales requieren que se coloque una barrera impermeabilizante para impedir que se contamine con el agua contaminada el subsuelo o el agua subterránea de ser el caso.

El fondo del humedal debe ser cuidadosamente alisado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre si este es algún tipo de fibra sintética, que puede llegar a perforarse. Además debe ser nivelado de lado a lado del humedal y en la totalidad de la longitud del lecho. Los dos tipos de humedales deben tener una ligera pendiente para asegurar el drenaje, asegurando las condiciones hidráulicas necesarias para el flujo del sistema.” (Lara, 1999)

### *Vegetación – Typha*

“La espadaña (typha) es una planta firme, apta para crecer en diversas condiciones medioambientales, es de fácil propagación, lo que la hace idónea para ser parte de un humedal construido. Produce cantidades importantes de biomasa y tiene capacidad para remover Nitrógeno y Fósforo por medio de la cosecha y la poda. Los rizomas de esta planta plantados a

aproximadamente 60 centímetros producen una cubierta densa en menos de un año.” (Fonseca, 2010)

- *“Número de plantas:* Se recomienda del orden de 10 plantas por m<sup>2</sup> de canal.
- *Duración de las plantas:* Todas las plantas utilizadas son perennes, por lo que la duración activa del filtro es ilimitada si se mantiene adecuadamente, principalmente si no falta el agua en los canales y se controlan las posibles plagas o enfermedades. Problemas de vertidos incontrolados que contengan sustancias nocivas para las plantas (herbicidas, por ejemplo) pueden hacer que las plantas sufran o mueran completamente, en cuyo caso, una vez restablecido el vertido normal, se puede rehacer el filtro mediante una nueva plantación.
- *Fijación de las plantas:* Las plantas se fijan en los canales mediante un sistema que comprende un flotador, un lastre y un dispositivo de enganche a los soportes lineales (también flotantes) que recorren los canales y mantienen inicialmente las plantas separadas a las distancias adecuadas. Como soportes lineales se pueden utilizar cuerdas de polietileno.  
  
También se puede establecer el tapiz flotante sobre el suelo del canal antes de su llenado con agua. En este caso, las plantas se colocan sobre un sustrato de arena en el fondo del canal, separadas entre sí unos 30 cm y se mantienen en condiciones de humedad continua para favorecer su crecimiento hasta que llegan a desarrollar una estructura superficial continua, al entrelazarse las raíces y rizomas de las plantas iniciales y de las nuevas plantas formadas a partir de los rizomas. Una vez que el tapiz tiene la consistencia adecuada, se llenan los canales de agua y el conjunto de las plantas que formaban una especie.
- *Entrada en funcionamiento:* Una vez fijadas, las plantas comenzaran de inmediato su acción depuradora. Sin embargo, el funcionamiento con eficacia plena lo alcanzaran al cabo de un año, aunque en climas tropicales el proceso es más rápido.” (Fernández, 2009)

#### *Duración del sistema*

“El período inicial varía dependiendo del diseño, características de las aguas negras y de la temporada de año. Un periodo inicial típico dura 12-22 meses después de la construcción, aunque el período inicial no es tan crítico para humedales subterráneos de flujo (tipo SFF), ya que mucha de la filtración se lleva a cabo por medios físicos. El desempeño del sistema debe

mejorar durante los primeros años a medida que la penetración de raíz traiga oxígeno más adentro de la gravera. Con el mantenimiento apropiado, la vida del sistema depende sólo en la integridad de la estructura. La duración del humedal dependerá también de la calidad de los materiales utilizados para su construcción.” (Setty, 2009)

#### 3.2.3.7.1 Cálculos a seguir para el diseño de humedal artificial subsuperficial

“Para la construcción del humedal se lo debe hacer la consideración de un reactor biológico por lo que su rendimiento es calculado por una ecuación cinética de primer orden para la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y nitrógeno” (Lara, 1999). El humedal de tipo subsuperficial se escogido debido a que no promueve la generación de insectos debido a que el agua a tratar no se estanca y esto es de gran ayuda en un relleno sanitario que por naturaleza genera gran cantidad de insectos.

La profundidad será d 0,6m los mismos que son divididos en tres capas de: arena fina 0,1m, grava fina 0,25m y grava media 0,25m.

El caudal se debe tomar en relación al número de humedales artificiales a construir, por lo que para nuestro diseño es la mitad.

- Constante  $k_t$

“Es la constante de reacción de primer orden (s-1) dependiente de la temperatura y del contaminante que se quiera eliminar.” (Fonseca, 2010)

$$K_T = k_x * 1,06^{(T_A - 20)^{\circ}C}$$

Ecuación 67.3

Donde:

$K_x$ : reacción de primer orden calculado para 30 días ( $\text{día}^{-1}$ ). Para su cálculo se aplica la siguiente ecuación (Fonseca, 2010):

$$k_{30} = \frac{\ln \frac{C_o}{C_f}}{30 \text{ días}}$$

$T_A$ : Temperatura ambiente (23,783 °C)

- Área superficial en función de la remoción del  $DBO_5$

“Por medio de estas ecuaciones se puede calcular el área que se requiere para que se dé la remoción del contaminante en el humedal.” (Fonseca, 2010)

$$As = \frac{Q_h * \ln \frac{Co}{Cf}}{K_T * y * n}$$

Ecuación 69.3

Donde:

$As$ : Área superficial  $m^2$

$Q_h$ : caudal del diseño del humedal ( $m^3/día$ )

$Co$ : concentración del  $DBO_5$  del afluente 354412 mg/l, dato obtenido de análisis en el laboratorio.

$Cf$ : concentración del  $DBO_5$  del efluente 59000 mg/l, dato obtenido de análisis en el laboratorio.

$K_T$ : constante de primer orden, depende de la temperatura

$y$ : profundidad del humedal (m)

$n$ : porosidad del medio, se sumó la porosidad de cada material a utilizar que constan en la tablas 7-3 dando un valor promedio de 34,833 (adimensional)

Tabla 7-3 Porosidad de diferentes tipos de materiales

Tipo de Material	n %		Promedio n
arena fina	28	32	30
grava fina	35	38	36,5
grava media	36	40	38

Fuente: (Cueva & Rivadeñeira, 2013)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

- Cálculo del ancho del humedal

La relación utilizada para determinar al ancho y por lo tanto el largo del humedal es 4:1. Para lo cual aplicamos la siguiente ecuación (Fonseca, 2010):

$$W = \frac{1}{y} * \left( \frac{Q * As}{m * ks} \right)^{0,4}$$

Ecuación 70.3

Donde:

Wh: ancho del humedal (m).

Q: caudal del humedal (m<sup>3</sup>/día)

As: área superficial del humedal (m<sup>2</sup>)

m: pendiente del lecho (0,5 %), recomendado para una mejor retención hidráulica según (Yucom, s.f.).

ks: conductividad hidráulica, se sumó la ks de cada material a utilizar que constan en la tablas 8-3 dando un valor promedio de 12016,67 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d.

Tabla 8-3 Conductividad Hidráulica

Material	ks (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)		Promedio ks
Arena Fina	100	1000	550
Grava Fina	1000	10000	5500
Grava media	10000	50000	30000

Fuente: (Cueva & Rivadeñeira, 2013)

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

- Cálculo del largo del humedal

Se calcula con la siguiente fórmula (Fonseca, 2010):

$$Lh = 4 * Wh$$

Ecuación 71.3

Donde:

Lh: largo del humedal (m).

Wh: ancho del humedal (m).

- Cálculo del volumen del humedal

“El cálculo del volumen del humedal se base en los datos de ancho y largo obtenidos con las ecuaciones anteriores. Su fórmula es” (Fonseca, 2010):

$$V_{HFS} = Lh * Wh * y$$

Ecuación 72.3

Donde:

$V_{HFS}$ : volumen del humedal ( $m^3$ )

Wh: ancho del humedal (m)

Lh: largo del humedal (m)

y: profundidad del humedal (m).

- Cálculo del tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica es calculado con la siguiente ecuación (Fonseca, 2010):

$$TRH = \frac{Lh * Wh * y * n}{Qh}$$

Ecuación 73.3

Donde:

TRH: tiempo de retención hidráulica (día)

Lh: largo del humedal (m)

Wh: ancho del humedal (m)

y: profundidad del humedal (m)

n: porosidad del material, se sumó la porosidad de cada material a utilizar que constan en la tablas 7-3 dando un valor de 34,833 (adimensional)

Qh: caudal del humedal ( $m^3$ /día)



- Ecuación para el cálculo de la remoción de nitrógeno

“El nitrógeno es un parámetro que se puede presentar de diferentes formas y requiere de condiciones químicas y ambientales para su remoción. En un humedal las condiciones para que se dé la nitrificación y desnitrificación dependen de la temperatura y de la velocidad de transferencia de oxígeno a las raíces de estas plantas” (Fonseca, 2010).

“En el humedal es de vital importancia que las raíces penetren por todo el lecho” (Fonseca, 2010).

#### *Constante de nitrificación*

Se calcula con la siguiente fórmula (Fonseca, 2010):

$$K_{NH} = 0,01854 + 0,3922(rz)^{2,6077}$$

Ecuación 74.3

Donde:

$k_{NH}$ : constante de nitrificación a 20°C (adimensional)

$rz$ : porcentaje de profundidad del lecho del humedal ocupado por las zonas de las raíces (m).

“El resultado obtenido es cuando la zona de raíces este totalmente desarrolladas.” (Fonseca, 2010).

### **3.2.4 Cálculos de la planta de tratamiento de lixiviados**

#### **3.2.4.1 Canal**

- Área teórica del canal rectangular

$$A = \frac{Q}{u}$$

$$A = \frac{(0,0000082 \text{ m}^3/s)}{0,6 \text{ m/s}}$$

$$A = 0,0000137 m^2$$

- Altura

$$h = \frac{A}{B} + 0,2$$

$$h = \frac{0,0000137 m^2}{0,5 m} + 0,2$$

$$h = 0,000027 m + 0,2$$

$$h = 0,20003 m$$

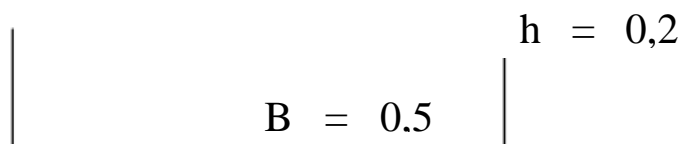
- Longitud del canal

$$L = 3 * h_T$$

$$L = 3 * 0,2 m$$

$$L = 0,60 m$$

# CANAL



Figuras 10-3 Canal rectangular

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

### 3.2.4.2 Vertedero

- Altura del agua en el vertedero

$$\frac{h}{D} = 0,07$$

$$h = 0,07 * 0,15m$$

$$h = 0,011m$$

- Coeficiente de descarga

$$C_d = 0,555 + \frac{D}{110h} + 0,041 \frac{h}{D}$$

$$C_d = 0,555 + \frac{0,15 \text{ m}}{110 * 0,011 \text{ m}} + (0,041 * 0,07)$$

$$C_d = 0,68$$

- Caudal real

$$Q = C_d * \emptyset * D^{5/2}$$

$$Q = 0,68 * 0,0164 * (0,15)^{5/2}$$

$$Q = 0,00002 \text{ m}^3/\text{s} = 1,78 \text{ m}^3/\text{día}$$

### 3.2.4.3 Destilador solar

#### Dimensionamiento del equipo

- Área de la bandeja colectora

$$V = h * A$$

$$0,42 \text{ m}^3 = 0,07 \text{ m} * A$$

$$A = \frac{0,42 \text{ m}^3}{0,07 \text{ m}}$$

$$A = 6 \text{ m}^2$$

- Ancho de la bandeja colectora

$$a = \sqrt{\frac{A}{3}}$$

$$a = \sqrt{\frac{6 \text{ m}^2}{3}}$$

$$a = 1,41 \text{ m}$$

- Largo de la bandeja colectora

$$l = 3 * a$$

$$l = 3 * 1,41 \text{ m}$$

$$l = 4,24 \text{ m}$$

- Altura de la estructura soporte

$$h = h_B + X_a$$

$$h = 0,07\text{m} + (0,05\text{m} * 2)$$

$$h = 0,17 \text{ m}$$

- Ancho de la estructura soporte

$$a_e = a + (\text{canales} * 2)$$

$$a_e = 1,41\text{m} + 0,12\text{m}$$

$$a_e = 1,53\text{m}$$

- Largo de la estructura soporte

$$l = l_B + \text{canales}$$

$$l = 4,24\text{m} + 0,12 \text{ m}$$

$$l = 4,36\text{m}$$

- Ancho y largo bases del vidrio para la cubierta.

$$a_e: 1,53 \text{ m}$$

$$l_e: 4,4 \text{ m}$$

- Altura del vidrio para la cubierta

$$\cos 30^\circ = \frac{\text{hipotenusa}}{\frac{a_e}{2}}$$

$$\cos 30^\circ = \frac{\text{hipotenusa}}{0,77\text{m}}$$

$$\text{hipotenusa} = \cos 30^\circ * (0,77\text{m})$$

$$\text{hipotenusa} = 0,69\text{m}$$

$$c^2 = b^2 + a^2$$

$$a = \sqrt{(0,77m)^2 - (0,69m)^2}$$

$$a_{altura} = 0,34 \text{ m}$$

- Área de captación solar de la cubierta

$$A_{v1} = \frac{B + b}{2} * h$$

$$A_{v1} = \frac{4,4m + 3,52m}{2} * 0,53m$$

$$A_{v1} = 2,1m^2$$

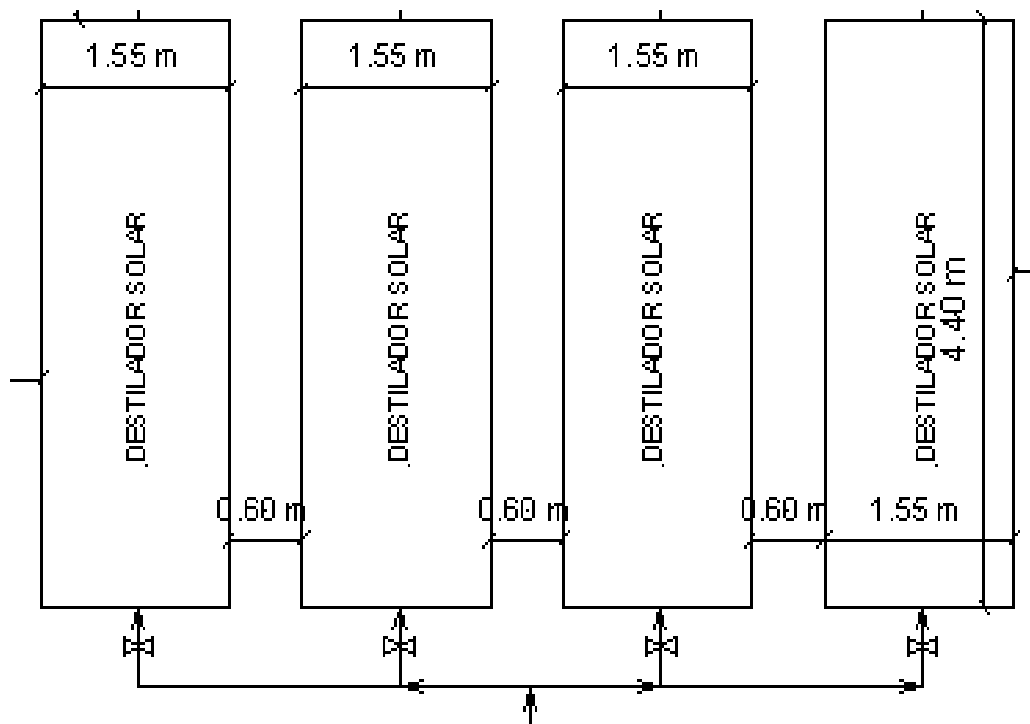
$$A_{v2} = \frac{b * c}{2}$$

$$A_{v2} = \left( \frac{1,53m * 0,34m}{2} \right)$$

$$A_{v2} = 0,26 \text{ m}^2$$

$$A_{CS} = 4,2m^2 + 0,52m^2$$

$$A_{CS} = 4,72m^2$$



Figuras 11-3 Destiladores Solares

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

### *Dimensionamiento de la radiación solar del equipo*

A continuación se detalla todos los cálculos para enero n=16 (día representativo del mes)

- Latitud geográfica (posición angular del plano)

$$\phi = \frac{19,794^\circ}{60}$$

$$\phi = -0,3299^\circ$$

$$\phi = -1,3299^\circ \text{ (grados sur)}$$

- Ángulo de Declinación Solar

$$\delta = 23,45^\circ * \sin\left(\frac{360 * (284 + n)}{365}\right)$$

$$\delta = 23,45^\circ * \sin\left(\frac{360 * (284 + 16)}{365}\right)$$

$$\delta = 12,865^\circ$$

- Ángulo del ocaso u Horario

$$\omega s = \cos^{-1}[-\tan(\delta) * \tan(\phi)]$$

$$\omega s = \cos^{-1}[-\tan(12,865^\circ) * \tan(-0,3299^\circ)]$$

$$\omega s = 1.573 \text{ rad/h}$$

$$\omega s = 88,75^\circ/\text{h}$$

- Número de horas de sol teóricas

$$N = \frac{2}{15} * \cos^{-1}(-\tan \delta * \tan \phi) = \frac{2}{15} * \omega s$$

$$N = \frac{2}{15} * 88,75^\circ/\text{h}$$

$$N = 11,83 \text{ h} = 12 \text{ horas}$$

- Radiación diaria solar promedio extraterrestre sobre superficie horizontal

$$A = 1 + 0,033 * \cos \frac{360 * n}{365}$$

$$A = 1 + 0,033 * \cos \frac{360 * 16}{365}$$

$$A = 0,97$$

$$B = \cos \phi * \cos \delta * \sin \omega s + \left( \frac{\pi * \omega s}{180} \right) * \sin \phi * \sin \delta$$

$$B = \cos -1,3299^\circ * \cos 12,865^\circ * \sin 88,75 + \left( \frac{\pi * 88,75^\circ/\text{h}}{180} \right) * \sin -1,3299^\circ * \sin 12,865^\circ$$

$$B = -0,282 \text{ h}$$

$$H_0 = \frac{24 * G_{sc}}{\pi} (A * B)$$

$$H_0 = \frac{24 * 1353 \text{ W/m}^2}{\pi} [0,97 * -0,282 \text{ h}]$$

$$H_0 = 7084,773 \frac{\text{W h}}{\text{m}^2 \text{ dia}}$$

- Radiación diaria solar promedio terrestre sobre superficie horizontal

$$H = H_0 * \left[ a + b * \left( \frac{nr}{N} \right) \right]$$

$$H = 7084,773 \frac{W h}{m^2 \text{ día}} * \left[ 0,93 + 0,002 * \left( \frac{4,5}{12,02} \right) \right]$$

$$H = 3138,303 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

- Índice de claridad

$$KT = \frac{H}{H_0}$$

$$KT = \frac{3138,303 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}}{7084,773 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}}$$

$$KT = 0,4430$$

- Radiación diaria difusa

$$Hd = H * (1,39 - 4,03 * KT + 5,53 * KT^2 - 3,11 * KT^3)$$

$$Hd = 3138,303 \frac{W h}{m^2 \text{ día}} * (1,39 - 4,03 * (0,4430) + 5,53 * (0,4430)^2 - 3,11 * (0,4430)^3)$$

$$Hd = 1316,904 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

- Radiación diaria solar directa

$$Hb = H - Hd$$

$$Hb = 3138,303 \frac{W h}{m^2 \text{ día}} - 1316,904 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

$$Hb = 1821,399 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

- Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

$$R_b$$

$$= \frac{\text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi - \beta) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos(\delta) * \cos(\phi - \beta) * [\text{sen}(15 * t_1) - \text{sen}(15 * t_2)]}{\text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos(\delta) * \cos(\phi) * [\text{sen}(15 * t_1) - \text{sen}(15 * t_2)]}$$

$$R_b$$

$$= \frac{\text{sen}(12,865) * \text{sen}(-1,3299 - 30) * (16 - 9) + \frac{12}{\pi} * \cos(12,865) * \cos(-1,3299 - 30) * [\text{sen}(15 * 9) - \text{sen}(15 * 16)]}{\text{sen}(12,865) * \text{sen}(-1,3299) * (16 - 9) + \frac{12}{\pi} * \cos(12,865) * \cos(-1,3299) * [\text{sen}(15 * 9) - \text{sen}(15 * 16)]}$$



$$R_b = 0,43$$

- Radiación directa sobre una superficie inclinada

$$Hb_T = Hb * R_b$$

$$Hb_T = 1821,399 \frac{W h}{m^2 \text{ día}} * 0,43$$

$$Hb_T = 787,106 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

- Radiación difusa sobre una superficie inclinada

$$Hd_T = Hd * \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$$

$$Hd_T = 1316,904 \frac{W h}{m^2 \text{ día}} * \left( \frac{1 + \cos 30^\circ}{2} \right)$$

$$Hd_T = 760,02 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

- Radiación reflejada por el suelo

$$Hr_T = \rho * H * \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$$

$$Hr_T = 0,20 * 3138,303 \frac{W h}{m^2 \text{ día}} * \left( \frac{1 + \cos 30^\circ}{2} \right)$$

$$Hr_T = 362,24 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

- Estimación de la radiación solar en una superficie inclinada

$$H_T = Hb_T + Hd_T + Hr_T$$

$$H_T = 787,106 \frac{W h}{m^2 \text{ día}} + 760,02 \frac{W h}{m^2 \text{ día}} + 362,24 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

$$H_T: 1909,36 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

Los resultados de los cálculos de la radiación solar para todos los meses del año son:

Tabla 9-3 Ángulos y Radiación Mensual

MES	n	$\delta$	$\omega_s$	N	A	B	$H_0$	Rb
-----	---	----------	------------	---	---	---	-------	----

		(°)	(°)	(h)			(W h/m <sup>2</sup> día)	
Enero	16	12,865	88,75	11,83	0,97	-0,282	7084,773	0,43
Febrero	47	-6,026	88,93	11,86	0,98	-0,194	8085,408	1,21
Marzo	75	18,625	90,93	12,12	1,00	0,384	14353,231	-4,41
Abril	106	23,039	82,93	11,06	0,98	1,105	21534,655	0,18
Mayo	136	-10,066	93,04	12,41	0,98	-0,764	2240,215	-0,86
Junio	167	-22,494	92,24	12,30	1,01	-0,564	4582,929	-1,22
Julio	197	-0,714	93,53	12,47	1,03	0,920	20151,746	-0,74
Agosto	228	16,986	76,35	10,18	1,01	1,183	22651,750	0,05
Septiembre	259	23,375	67,92	9,06	0,98	1,172	22264,978	0,00
Octubre	289	-7,732	125,29	16,71	0,98	2,097	31784,730	-0,15
Noviembre	320	-21,651	88,56	11,81	1,00	0,374	14241,413	0,96
diciembre	350	-3,229	90,36	12,05	1,03	-0,295	7599,913	17,80

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

Tabla 100-3 Radiación directa y difusa mensual en una superficie horizontal

MES	nr	H o G <sub>s</sub> (W h/m <sup>2</sup> día)	KT	H <sub>d</sub> (W h/m <sup>2</sup> día)	H <sub>b</sub> (W h/m <sup>2</sup> día)
Enero	4,5	3138,303	0,4430	1316,904	1821,399
Febrero	5,3	3883,523	0,4803	1497,093	2386,430
Marzo	3,3	5489,064	0,3824	2654,738	2834,326
Abril	5,1	10515,449	0,4883	3981,260	6534,188
Mayo	4,4	960,218	0,4286	416,451	543,767
Junio	3,3	1742,719	0,3803	847,260	895,459
Julio	5,2	9340,392	0,4635	3740,241	5600,151
Agosto	5,8	12437,418	0,5491	4099,545	8337,873
Septiembre	6	13382,274	0,6010	3884,239	9498,035
Octubre	5,1	12744,550	0,4010	5896,926	6847,624
Noviembre	4,5	6314,828	0,4434	2647,125	3667,703
diciembre	5,9	3832,241	0,5042	1399,645	2432,596

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

Tabla 11-3 Radiación directa y difusa en una superficie inclinada

MES	H <sub>bT</sub> (W h/m <sup>2</sup> día)	H <sub>dT</sub> (W h/m <sup>2</sup> día)	H <sub>rT</sub> (W h/m <sup>2</sup> día)	HT (G <sub>s</sub> ) (W h/m <sup>2</sup> día)
Enero	787,106	760,02	362,24	1909,36
Febrero	2881,929	864,01	448,26	4194,197
Marzo	-12512,968	1532,1	633,58	-10347,27
Abril	1153,965	2297,7	1213,75	4665,40

Mayo	-470,232	240,3	110,83	-119,05
Junio	-1088,275	489,0	201,15	-398,15
Julio	-4143,064	2158,6	1078,12	-906,36
Agosto	450,799	2366,0	1435,59	4252,34
Septiembre	20,384	2241,7	1544,65	3806,73
Octubre	-1024,369	3403,3	1471,04	3849,94
Noviembre	3511,690	1527,7	728,89	5768,30
diciembre	43289,752	807,8	442,34	44539,86

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

*Cálculos de la energía solar disponible para la transferencia de calor y masa*

- Resistencia térmica equivalente

$$Req = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}$$

$$Req = \frac{0,002m}{16,3 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{0,05m}{0,04 \frac{W}{m^{\circ}K}} + \frac{0,002m}{60,4 \frac{W}{m^{\circ}K}}$$

$$Req = 1,25 \frac{m^2 K}{W}$$

- Coefficiente de transferencia de calor convectivo

$$hct = 5,7 + 3,8 * w$$

$$hct = 5,7 + 3,8 * 1,93 \frac{m}{s}$$

$$hct = 13,034 \frac{W}{m^2 K}$$

- Resistencia térmica equivalente del aislante

$$Kb = \frac{1}{Req + \frac{1}{h_{ct}}}$$

$$Kb = \frac{1}{1,25 \frac{m^2 K}{W} + \frac{1}{13,034 \frac{W}{m^2 K}}}$$

$$Kb = 0,754 \frac{W}{m^2 K}$$

- Transferencia de calor por conducción

$$qc = Kb * (Tw - Ta)$$

$$qc = 0,754 \frac{W}{m^2 \circ K} * (330,39 - 288,15) \circ K$$

$$qc = 31,83 \frac{W}{m^2}$$

- Temperatura del cielo

$$T_s = T_a * \left( 0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right)^{0.25}$$

$$T_s = 288,15 \circ K * \left( 0.8 + \frac{293,15 \circ K - 273}{250} \right)^{0.25}$$

$$T_s = 279,134 \circ K$$

- Transferencia de calor por radiación en el vidrio

$$qr_v = \varepsilon_v * \sigma * [Tv^4 - Ts^4]$$

$$qr_v = 0,8 * \left( 5,670 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \right) * [(310,15 \circ K)^4 - (279,134 \circ K)^4]$$

$$qr_v = 144,34 \frac{W}{m^2}$$

- Calculo del calor perdido por convección del vidrio

$$qc_v = h_{cv} * (Tv - Ta)$$

$$qc_v = 13,034 \frac{W}{m^2 \circ K} * (310,15 - 288,15) \circ K$$

$$qc_v = 286,75 \frac{W}{m^2}$$

- Calor perdido por radiación del agua

$$qr_w = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1} [T_w^4 - T_v^4]$$

$$qr_w = \frac{5,670 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}}{\frac{1}{0,96} + \frac{1}{0,8} - 1} [(330,39 \circ K)^4 - (310,15 \circ K)^4]$$

$$qr_w = 116,865 \frac{W}{m^2}$$

- Coeficiente de transferencia de calor por convección natural

$$h_c = 0,884 * \left( T_w - T_v + \frac{P_w - P_{w_v}}{268,9 \times 10^3 - P_w} * (T_w + 273) \right)^{1/3}$$

$$h_c = 0,884 * \left( 330,39^\circ K - 310,15^\circ K + \frac{17633 \text{ Pa} - 11080 \text{ Pa}}{268,9 \times 10^3 - 17633 \text{ Pa}} * (330,39^\circ K + 273) \right)^{1/3}$$

$$h_c = 2,92 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

- Coeficiente de radiación efectivo

$$h_r = \frac{\varepsilon_B * \sigma * (T_v^4 - T_w^4)}{(T_v - T_w)}$$

$$h_r = \frac{0,2 * \left( 5,670 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \right) * ((310,15^\circ K)^4 - (330,39^\circ K)^4)}{(310,15 - 330,39)^\circ K}$$

$$h_r = 1,49 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

- Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua

$$h_T = h_c + \frac{3}{4} h_r$$

$$h_T = 2,92 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} + \frac{3}{4} \left( 1,49 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right)$$

$$h_t = 4,037 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

- Calor perdido por convección del agua (natural)

$$qc_w = h_T * (T_w - T_v)$$

$$qc_w = 4,037 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} * (330,39 - 310,15)^\circ K$$

$$qc_w = 81,708 \frac{W}{m^2}$$

- Calor perdido por evaporación

$$qe = 0,013 h_T * (P_w - P_v)$$

$$qe = \left( 0,013 * \left( 4,037 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right) \right) * (17633 \text{ Pa} - 11080 \text{ Pa})$$

$$qe = 343,91 \frac{W}{m^2}$$

- Calor almacenado por la cubierta

$$qr_w + qc_w + qe + \alpha g * Gs - (qr_v + qc_v) = q'c$$

$$116,865 \frac{W}{m^2} + 81,708 \frac{W}{m^2} + 343,91 \frac{W}{m^2} + \left( 0,1 * 1041,08 \frac{W}{m^2} \right) - \left( 144,34 \frac{W}{m^2} + 286,75 \frac{W}{m^2} \right) \\ = q'c$$

$$q'c = 215,45 \frac{W}{m^2}$$

- Calculo del calor absorbido por el agua

$$Gs * (1 - \alpha g)(1 - \alpha a) - (qr_w + qc_w + qe + qc) = q'a$$

$$1041,08 \frac{W}{m^2} * (1 - 0,1)(1 - 0,3) - \left( 116,865 \frac{W}{m^2} + 81,708 \frac{W}{m^2} + 343,91 \frac{W}{m^2} + 31,83 \frac{W}{m^2} \right) \\ = q'a$$

$$q'a = 81,57 \frac{W}{m^2}$$

- Calor absorbido por el sistema

$$q_t = q'c + q'a$$

$$q_t = \left( 215,45 \frac{W}{m^2} \right) + \left( 81,57 \frac{W}{m^2} \right)$$

$$q_t = 297,06 \frac{W}{m^2}$$

Al expresarlo en función del área del colector solar:

$$Q_T = q_t * A$$

$$Q_T = 297,06 \frac{W}{m^2} * 6 m^2$$

$$Q_T = 1782,37 W$$

- Calor necesario para calentar y evaporar

Masa del vidrio:

$$mv = \rho v * Av * Ev$$

$$mv = 2500 \frac{kg}{m^3} * 4,72m^2 * 0,004m$$

$$mv = 47,2kg$$

Obtenido el dato se tiene:

$$Qv = mv * Cp_v * (T_v - T_a)$$

$$Qv = 47,2kg * 800 \frac{J}{Kg \text{ } ^\circ K} * (310,15^\circ K - 288,15^\circ K)$$

$$Qv = 830720 J \text{ al día} = 320,76 \frac{W h}{día}$$

Considerando las horas de heliofanía:

$$Qv = 230,76 \frac{W h}{día} * \frac{1 día}{4,86h}$$

$$Qv = 47,48 W$$

$$Qcv = q_{cv} * A_v$$

$$Qcv = 286,75 \frac{W}{m^2} * 4,72 m^2$$

$$Qcv = 1353,46 W$$

- Calor necesario para calentar el agua

$$Qca = ms * Cp * (T_w - T_a)$$

Masa del agua (ms) en el colector:

$$ms = \rho_w * V$$

$$ms = 983 \frac{kg}{m^3} * 1,78 m^3$$

$$ms = 1750 kg$$

Reemplazando datos:

$$Qca = 1750kg * 4220 \frac{J}{Kg \text{ } ^\circ K} * (330,39 - 288,15)^\circ K$$

$$Qca = 303029760 J \text{ al día} = 84174,93 \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

Considerando las horas de heliofanía:

$$Q_{ca} = 84174,93 \frac{W \cdot h}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{4,86h}$$

$$Q_{ca} = 17319,95 W$$

- Calor necesario para evaporar un porcentaje del total de la masa del agua

$$Q_{ev} = x * m_s * \lambda$$

Masa evaporada

$$m_{ev} = \frac{G_{sc} * A * (t - t_1)}{l_v}$$

Calculo de  $t_1$ :

$$t_1 = \frac{m_s * c_p * (100 - T_a)}{G_{sc} * A}$$

$$t_1 = \frac{1750kg * 4180 \frac{J}{kg^\circ C} * (100 - 15)^\circ C}{5101,28 \frac{W}{m^2} * 6 m^2}$$

$$t_1 = 19733,94 s$$

Reemplazando datos se tiene:

$$m_{ev} = \frac{5101,28 \frac{W}{m^2} * 6 m^2 * (86400 - 19733,94 s)}{2465900 \frac{J}{kg}}$$

$$m_{ev} = 827,48 kg$$

Porcentaje de masa evaporada:

$$x = \frac{m_{ev}}{m_s}$$

$$x = \frac{827,48kg}{1750 kg}$$

$$x = 0,48$$

Por lo tanto el calor latente para evaporar el agua es:

$$Q_{ev} = 0,48\% * 1750 kg * 2365234.4 \frac{J}{kg}$$



$$Q_{ev} = 1957194232 \text{ J al día} = 543665,064 \frac{\text{W h}}{\text{día}}$$

Considerando las horas de heliofanía:

$$Q_{ev} = 543665,064 \frac{\text{W h}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{4,86 \text{ h}}$$

$$Q_{ev} = 111865,24 \text{ W}$$

- Calor almacenado por el dispositivo

$$Q_N = Q_{cv} + Q_{ca} + Q_{ev}$$

$$Q_N = 1353,46 \text{ W} + 17319,95 \text{ W} + 111865,24 \text{ W}$$

$$Q_N = 130538,65 \text{ W}$$

- Producción del destilador solar teórica

$$Me = \frac{Q_T}{\lambda}$$

$$Me = \frac{1782,37 \text{ W}}{2365234,4 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$Me = 0,0007 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Eficiencia Teórica

$$Q = Q_T + Q_N$$

$$Q = 1782,37 \text{ W} + 130538,65 \text{ W}$$

$$Q = 132321,02 \text{ W}$$

$$Eficiencia_{teórica} = \frac{Q}{G_S} * 100$$

$$Eficiencia_{teórica} = \frac{132321,02 \text{ W}}{1041,08 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 6 \text{ m}^2} * 100$$

$$Eficiencia_{teórica} = 22 \%$$

### 3.2.4.4 Humedal Artificial

- Área superficial en función de la remoción del DBO<sub>5</sub>

$$As = \frac{Q * \ln \frac{Co}{Cf}}{K_T * y * n}$$

Calculo de la constante kt:

$$k_{30} = \frac{\ln \frac{Co}{Cf}}{30 \text{ días}}$$

$$k_{30} = \frac{\ln \frac{354412 \text{ mg/l}}{59000 \text{ mg/l}}}{30 \text{ días}} = 0,07538 \text{ días}^{-1}$$

$$K_T = k_{30} * 1,06^{(T_A - 20)^{\circ}C}$$

$$K_T = 0,07538 \text{ días}^{-1} * 1,06^{(23,783 - 20)^{\circ}C}$$

$$K_T = 0,09397 \text{ día}^{-1}$$

Reemplazando valores:

$$As = \frac{0,85 \text{ m}^3/\text{día} * \ln \frac{354412 \text{ mg/l}}{59000 \text{ mg/l}}}{0,09397 \text{ día}^{-1} * 0,6 \text{ m} * 34,833}$$

$$As = 338,92 \text{ m}^2$$

- Calculo del ancho del humedal

$$W = \frac{1}{y} * \left( \frac{Q_h * As}{m * ks} \right)^{0,4}$$

$$Wh = \frac{1}{0,6 \text{ m}} * \left( \frac{0,85 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 338,92 \text{ m}^2}{0,05 * 12016,67 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}} \right)^{0,4}$$

$$Wh = 1,24 \text{ m}$$

- Calculo del largo del humedal

$$Lh = 4 * Wh$$

$$Lh = 4 * 1,24 \text{ m}$$

$$Lh = 4,97 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen del humedal

$$V_{HFS} = Lh * Wh * y$$

$$V_{HFS} = 4,97 \text{ m} * 1,24 \text{ m} * 0,6 \text{ m}$$

$$V_{HFS} = 3,7 \text{ m}^3$$

- Cálculo del tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{Lh * Wh * y * n}{Qh}$$

$$TRH = \frac{4,97 \text{ m} * 1,24 \text{ m} * 0,6 \text{ m} * 34,833}{0,85 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$TRH = 151,74 \text{ días}$$

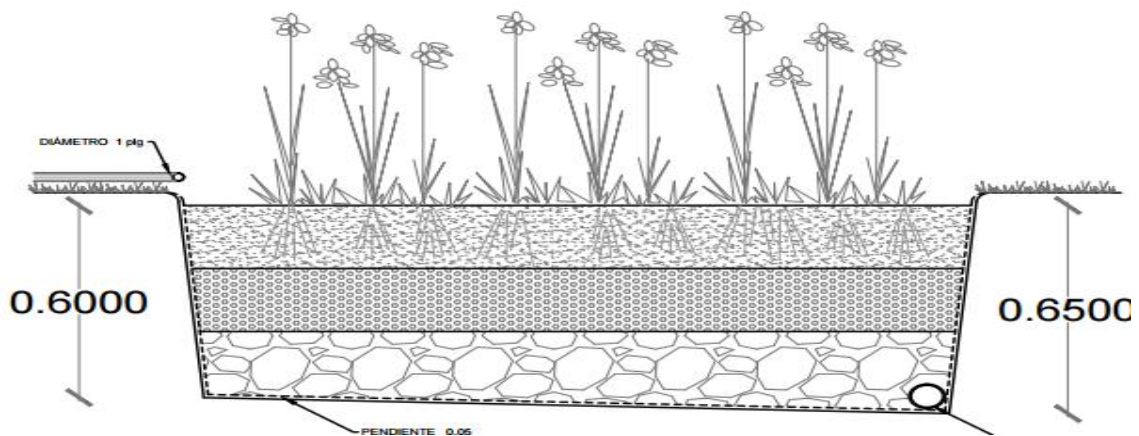
- Ecuación para el cálculo de la remoción de nitrógeno

$$K_{NH} = 0,01854 + 0,3922(rz)^{2,6077}$$

$$K_{NH} = 0,01854 + 0,3922(0,6 \text{ m})^{2,6077}$$

$$K_{NH} = 0,122$$

“El resultado obtenido es cuando la zona de raíces este totalmente desarrolladas, mientras que al inicio del funcionamiento del humedal seria” 0,0195 (Fonseca, 2010).



$$l = 4,97 \text{ m}$$

## Figuras 12-3 Humedal artificial flujo subsuperficial

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

### 3.2.5 Resultados

Una vez terminadas las pruebas de tratabilidad se realiza las pruebas de caracterización físico química y microbiológica del agua tratada basándose en la norma descrita en el TULSMA libro VI, anexo 1, tabla 9 de descarga a un cuerpo de agua dulce.

#### 3.2.5.1 Resultados de la caracterización final

Tabla 112-3 Análisis parámetros físicos agua tratada (ver anexo Q)

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	.....	7,85
Conductividad	ms/cm	1,35
Sales	.....	0,7
TDS	mg/l	0,73
Turbidez	NTU	1,13
Color	Pt Co	187

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias, ESPOCH

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

Tabla 1312-3 Análisis parámetros químicos y microbiológicos agua tratada (ver anexo U)

Parámetros	Métodos	Unidad	Resultado	Valor limite
Nitrógeno Total	Standard Methods 4500-N – B mod	mg/L	40,2	50
Sulfatos ( $SO_4$ ) <sup>2-</sup>	Standard Methods 4500-( $SO_4$ ) <sup>2-</sup> E mod	mg/L	77	1000
Cromo hexavalente	Standard Methods 3500 -Cr – 3111 B	mg/L	0,193	0,5
Hierro (Fe)	Standard Methods 3500 -Fe – 3111 B	mg/L	0,12	10
Aluminio	Standard Methods 3500 -Al – 3111	mg/L	0,037	5

	D			
Cloro libre residual	Standard Methods 4500 - Cl G mod	mg/L	0,21	0,5
Plomo	Standard Methods 3500 -Pb – 3111 B	mg/L	0,014	0,2
Zinc	Standard Methods 3500 -Zn – 3111 B	mg/L	0,052	5
Selenio	Standard Methods 3500 -Se – 3111 B	mg/L	0	0,1
Fosforo total	Standard Methods 4500 -P – E mod	mg/L	2,25	10
Tensoactivos	Standard Methods 5540 – C mod	mg/L	0,47	0,5
Sulfuros	Standard Methods 4500-S <sup>2-</sup>	mg/L	<0,5	0,5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Standard Methods 5220 - D mod	mg/L	125	200
Demanda Biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Standard Methods 5210 - B	mg/L	71	100
Solidos totales	Standard Methods 2540 - B	mg/l	728	1600
Solidos Suspendidos Totales	Standard Methods 2540 – D	mg/l	3	130
Coliformes fecales	NTE INEN 1529-7	UFC/g	5	2000
Coliformes Totales	NTE INEN 1529-7	UFC/g	996	-

Fuente: TULSMA, Anexo 1, Libro IV, tabla 9 Límites de descarga a un cuerpos de agua dulce, UNACH.

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

### 3.2.5.2 Resultados de la remoción de los parámetros fuera del límite permisible

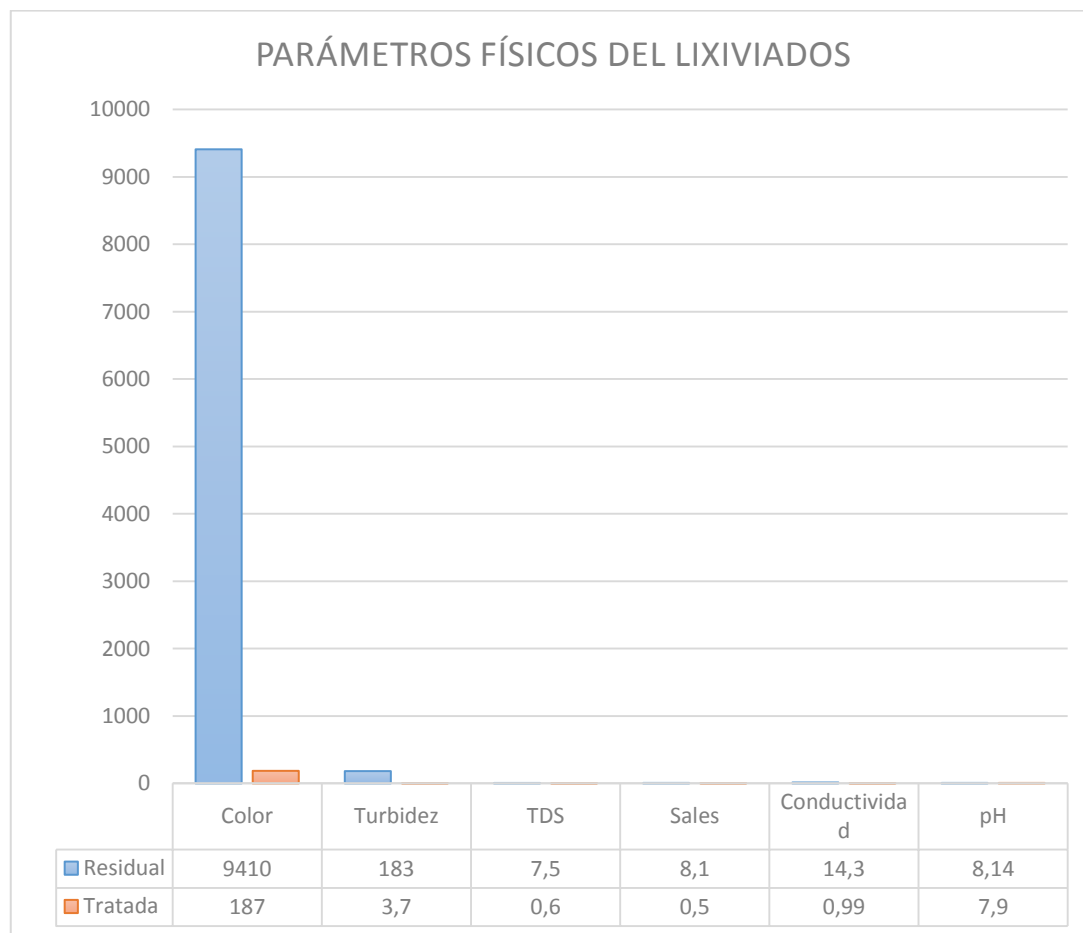
- Caracterizaciones Físicas

Tabla 14-3 Parámetros Físicos

Parámetros Físicos	Residual	Tratada	Límite Permisible (UTC)	Eficiencia de Tratamiento (%)
Color	9410	187	.....	96,62
Turbidez	183	3,7	.....	97,98
TDS	7,5	0,6	.....	92
Sales	8,1	0,5	.....	93,83
Conductividad	14,3	0,99	.....	93,0,77
Ph	8,14	7,9	.....	3,56

Fuente: Dr. Juan Lara (responsable) Laboratorio de Servicios Ambientales, UNACH.

Realizado por: Lizeth Morales, 2017



**Gráfica 1-3 Parámetros físicos**

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

- **Caracterizaciones Químicas**

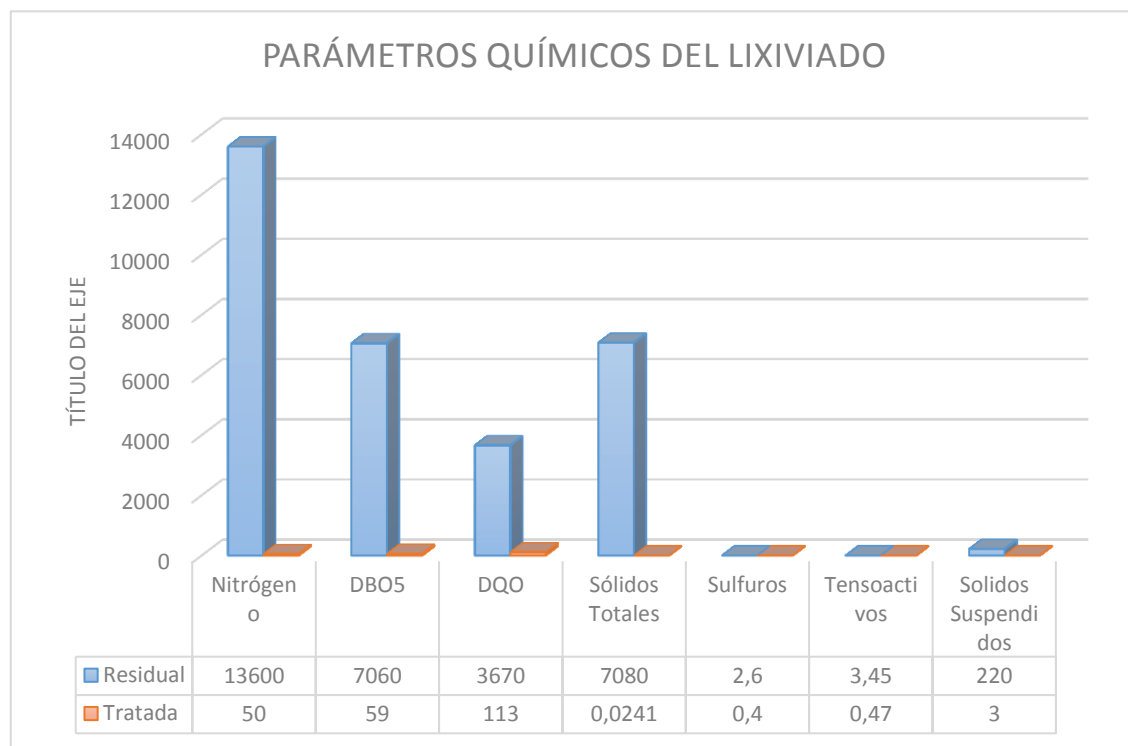
**Tabla 15-3 Parámetros Químicos**

<b>Parámetros Químicos</b>	<b>Residual</b>	<b>Tratada</b>	<b>Limite Permisible (mg/l)</b>	<b>Eficiencia del Tratamiento - Remoción (%)</b>
Nitrógeno	13600	50	50	99,63
DBO5	7060	59	100	99,16
DQO	3670	113	200	96,92
Sólidos Totales	7080	0,0241	1600	99,999

Sulfuros	2,6	0,4	0,5	80,769
Tensoactivos	3,45	0,47	0,5	86,38
Solidos Suspendidos	220	3	130	98,64

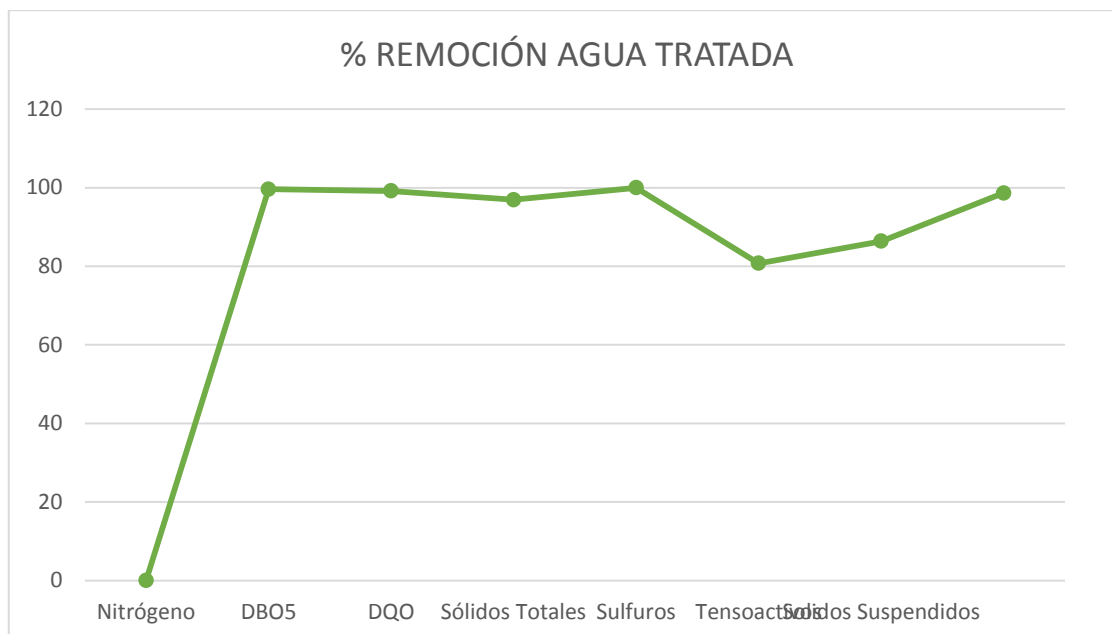
Fuente: Dr. Juan Lara (responsable) Laboratorio de Servicios Ambientales, UNACH.

Realizado por: Lizeth Morales, 2017



**Gráfica 2-3 Parámetros Químicos**

Realizado por: Lizeth Morales, 2017



**Gráfica 3-3 Remoción parámetros químicos**

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

### 3.2.6 *Análisis de los resultados*

Las pruebas de tratabilidad realizadas a los lixiviados del relleno sanitario se basaron en filtrar residuos de gran tamaño, destilar los lixiviados utilizando la energía solar y finalmente se utiliza un humedal artificial; el proceso descrito será el que se utilice en la planta de tratamiento de lixiviados debido que la eficiencia del mismo es alta en cuanto a la remoción de contaminantes, para que los parámetros se encuentren dentro de los límites permisibles según indica el TULSMA.

La caracterización inicial y final de los lixiviados nos dio los siguientes resultados en cuanto a la remoción de los contaminantes del agua.

Entre los parámetros físicos se tiene (tabla 23.3): el color con un valor inicial de 9410 UTC y un valor final de 187 UTC, además con un porcentaje de remoción del 98,01 %; la turbidez dio un valor inicial y final de 183 NTU y 1,13 NTU respectivamente, siendo el porcentaje de remoción del 99,38%; en cuanto al TDS los valores iniciales y finales obtenidos fueron 7,5 g/L y 0,6 g/L, con un porcentaje de remoción del 92%; mientras que las sales dio valores iniciales y finales de



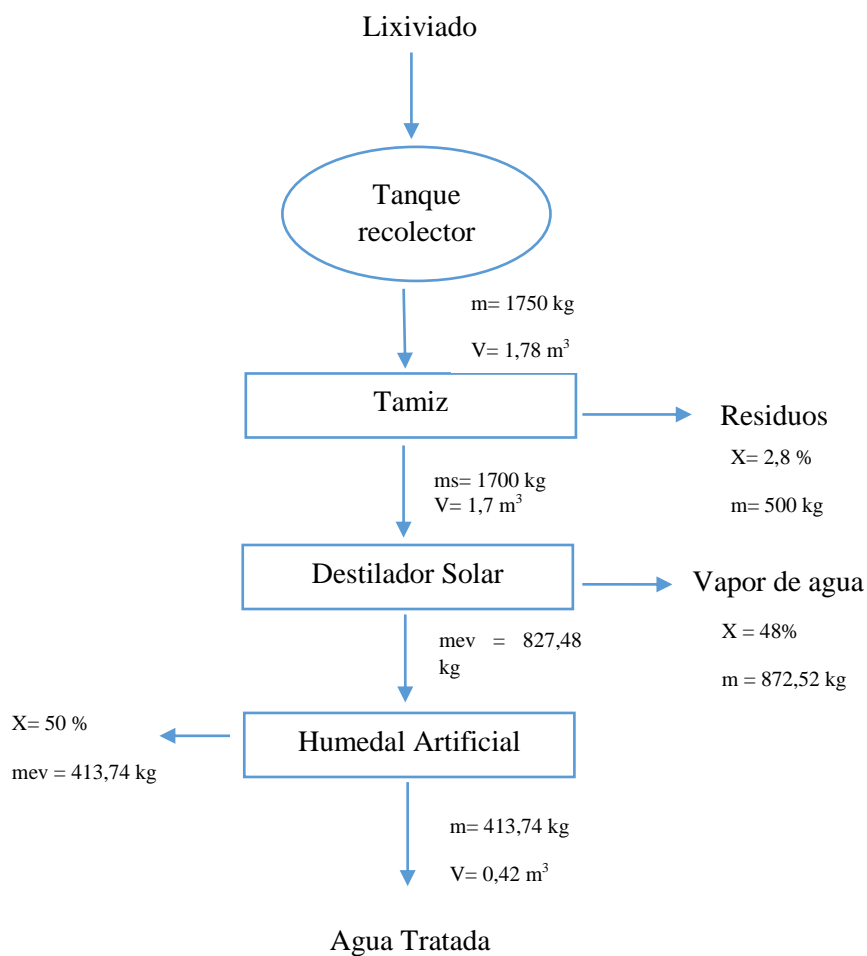
8,1 y 0,5 respectivamente (parámetro adimensional), con un porcentaje de remoción del 93,83%; la conductividad con un valor inicial de 14,3 ms/cm y un valor final de 0,99 ms/cm y con un porcentaje de remoción del 93,08%; finalmente el pH dio un valor inicial 8,14 y un valor final de 7,85 el cual se encuentra dentro del rango permisible.

Entre los parámetros químicos que con el tratamiento finalmente se encuentran dentro del límite permisible se tiene (tabla 24.3): el nitrógeno con un valor inicial de 13600 mg/L y un valor final de 40,2 mg/L, con un porcentaje de remoción del 99,7%; el DBO<sub>5</sub> presento valores iniciales y finales de 7060 mg/L y 71 mg/L respectivamente, con una remoción del 98,99%; en el DQO se obtuvo un valor inicial de 3670 mg/L y un valor final de 125 mg/L dándonos una remoción del 96,59%; los sólidos totales dieron un valor inicial de 7080 mg/L y un valor final de 728 mg/L, con una remoción del 89,72%; en cuanto a los sulfuros el valor inicial es 2,60 mg/L y el valor final es <0,5 mg/L, con una remoción del 80,77%; por último los tensoactivos dieron inicialmente un valor de 3,45 mg/L y un valor final de 0,47 mg/L, con una remoción de 86,38%.

Todos los parámetros químicos presentados y analizados en la tabla 22.3 se compararon con los límites permisibles mencionados en la tabla 9 para descargar a cuerpos de agua dulce, anexo 1, libro IV del TULSMA, para validar los resultados obtenidos una vez aplicado el tratamiento.

### **3.3 Proceso de Producción – Diagrama de Flujo**

Diseño del sistema de tratamiento de lixiviados es una propuesta basada en los resultados obtenidos tanto en el caracterización inicial así como también de las pruebas de tratabilidad y su respectiva caracterización. El caudal de diseño que ingresa es de 1,78 m<sup>3</sup> al día.



Figuras 13-3 Diagrama de la planta de tratamientos de lixiviados

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

### 3.4 Requerimientos de Tecnología, Equipos y Maquinaria

Tabla 1613-3 Materiales, equipos y reactivos para la caracterización del lixiviado

MATERIALES			EQUIPOS	REACTIVOS	
Botellones plásticos	Cronómetro	Papel filtro	Balanza analítica	Agua destilada	Cromo 2
Cámara fotográfica	Guantes	Espátula	Estufa	Aluver	Ferover
Mascarillas	Pipetas	Cepillos para tubos de ensayo	Baño maría	Cromo 1	Cuver 1
Libreta	Mandil	Pinzas para	Conductímetro	Ácido	Solución patrón de

		cápsulas		clorhídrico	yodo
Piseta	Varilla de agitación	Jeringuillas	Turbidímetro	Almidón	Persulfato de nitrógeno
Embudo	Pipetas volumétricas	Balones de aforo	pH-metro	Sulfater 4	Nitríver
Cajas Petri	Bureta	Balde	Digestor	Nitraver 5	Tiosulfato de sodio
Vasos de precipitación	Probetas	Toallas absorbentes	Colorímetro	Dicromato de potasio	Solución (sulfato de plata+ ácido sulfúrico)
Peras de succión	Matraz Erlenmeyer	Tubos de ensayo	Balanza analítica	Agua desionizada	Reactivo nitrógeno total (TN)

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias ESPOCH

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

Tabla 1714-3 Materiales, reactivos y equipos para las pruebas de Tratabilidad

MATERIALES			REACTIVOS	EQUIPOS
Botellas (1L y 6L)	Jeringuillas	Martillos	Agua destilada	Conductímetro
Bombas	Mangueras	Plástico	Sulfato de Manganeso	Destilador Solar (prototipo)
Vasos de precipitación	Guantes	Balones de aforación	Sulfato de Aluminio	pH-metro
Totoras	Madera	Pipetas		Digestor
Tinas	Papel absorbente	Llaves de tres vías		Humedal Artificial
Arena fina	Grava	Carbón activado		Balanza analítica
Seolita	Lechugines	Clavos		

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias ESPOCH

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

### 3.5 Análisis de Costo

Tabla 18-3 Presupuesto para la implementación de la Planta de Tratamiento de Lixiviados

No	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Costo Total
<b>Canal</b>					
1	Excavación	12,5	m <sup>3</sup>	9,33	116,63
2	Hormigón Simple (fc=280 Kg/cm <sup>2</sup> )	0,36	m <sup>3</sup>	134,65	48,47
3	Acero de Refuerzo (fy=4,200 Kg/cm <sup>2</sup> )	25,7	Kg	1,62	41,63

4	Enlucido interior liso	1,8	m <sup>2</sup>	8,67	15,61
<b>Tamices</b>					
5	Tamiz de 2" (5 cm)	1	m	4,90	4,90
6	Tamiz N° 4 (0,47 cm)	1	m	4,90	4,90
<b>Humedales Artificiales</b>					
7	Tubo PVC (d=200 mm)	33,3	M	18,21	606,39
8	Válvulas de 1/2 vuelta (D= 200 mm)	6	U	65,46	392,76
9	TEE (D=200 mm)	10	U	47,25	472,50
10	Codo (D=200*90)	8	U	10,75	86,00
11	Desalojo	12,5	m <sup>3</sup>	3,64	45,50
12	Geomembrana (HDPE)	58	m <sup>2</sup>	11,65	675,70
13	Filtrante de arena (e=10 cm)	1,5	m <sup>3</sup>	10,25	15,38
14	Filtrante de grava fina (e=25 cm)	3,75	m <sup>3</sup>	11,16	41,85
15	Filtrante grava media (e=25 cm)	3,75	m <sup>3</sup>	12,05	45,19
16	Plantas (totoras)	150	U	1,25	187,50
<b>Destiladores Solares</b>					
17	Soporte del destilador (Tubo cuadrado 2"x2 mm+ plancha de tol e=1/8)	4	U	190,5	762,00
18	Bandeja colectora (acero inoxidable e=2 mm)	4	U	460	1.840,00
19	Aislante (Lana de vidrio)	27,28	m <sup>2</sup>	5	136,40
20	Cubierta del destilador (aluminio + vidrio e=6 mm)	18,88	m <sup>2</sup>	57,07	1.077,48
21	Mano de obra para la construcción del destilador	4	U	196,65	786,60
<b>COSTO</b>				<b>7.403,39</b>	

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

### 3.6 Cronograma de Ejecución del Proyecto

Tabla 19-3 Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	MES																											
	1°				2°				3°				4°				5°				6°							
	SEMANAS																											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Caracterización física, química y bacteriológica		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Realización de pruebas de tratabilidad		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Dimensionamiento del sistema de tratamiento de lixiviados													■	■	■	■	■	■	■									
Factibilidad técnica y económica del diseño															■	■	■	■	■	■	■							
Validación del diseño (caracterización física, química y bacteriológica)																	■	■	■	■								
Elaboración y corrección de borradores																	■	■	■	■	■	■						
Redacción del trabajo final					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Empastado y presentación del trabajo final																					■	■	■					
Auditoria Académica																						■	■	■				
Defensa del trabajo																								■				

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

## CONCLUSIONES

- Se determinó el caudal actual del relleno sanitario por medio del método volumétrico mismo que es de  $0,71 \text{ m}^3/\text{día}$ , además se determinó un caudal de diseño con un valor de  $1,78 \text{ m}^3/\text{día}$ .
- Se realizó la caracterización física, química y microbiológica de los lixiviados originados en el relleno sanitario, para determinar cuáles parámetros se encuentran por encima de los límites máximos permisibles siendo estos: Nitrógeno total  $13600 \text{ mg/L}$ , tensoactivos  $3,45 \text{ mg/L}$ , sulfuros  $2,60 \text{ mg/L}$ ,  $\text{DBO}_5$   $7060 \text{ mg/L}$ , sólidos totales  $7080 \text{ mg/L}$ , sólidos suspendidos  $220 \text{ mg/L}$ , coliformes totales  $25000 \text{ UFC/g}$ .
- Se identifica que las variables de cada uno de los procesos para el diseño de la plana de tratamiento de lixiviados son: el caudal de lixiviados generado en el relleno sanitario ( $2 \text{ m}^3/\text{día}$ ); el área ( $6 \text{ m}^2$ ) y volumen ( $1,78 \text{ m}^3$ ) de la bandeja recolectora del destilador solar; el volumen ( $3,7 \text{ m}^3$ ) y el área ( $338,92 \text{ m}^2$ ) del humedal artificial de flujo subsuperficial, así como el tiempo de retención hidráulica ( $151,7 \text{ días}$ ).
- Con el diseño de tratamiento para los lixiviados se logra disminuir la carga contaminante de los lixiviados, dándonos valores para el nitrógeno  $40,2 \text{ mg/L}$ , los tensoactivos  $0,47 \text{ mg/L}$ , los sulfuros  $< 0,5 \text{ mg/L}$ , DQO  $125 \text{ mg/L}$ ,  $\text{DBO}_5$   $71 \text{ mg/L}$ , sólidos totales  $728 \text{ mg/L}$ , sólidos suspendidos  $3 \text{ mg/L}$ , coliformes totales  $996 \text{ UFC/g}$ ; mismos que están dentro de los límites máximos permisibles según el TULSMA 2016 libro IV, anexo 1, tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Se realizó la caracterización final del agua tratada p, ara validar el tratamiento propuesto con lo que se generó los siguientes porcentajes de remoción  $98,01 \%$  color,  $99,38 \%$  turbidez,  $92 \%$  TDS,  $93,83 \%$  sales,  $93,08 \%$  conductividad,  $99,7 \%$  nitrógeno,  $98,99 \%$   $\text{DBO}_5$ ,  $96,59 \%$  DQO,  $89,72 \%$  sólidos totales,  $80,77 \%$  sulfuros,  $86,38 \%$  tensoactivos,  $98,64 \%$  sólidos suspendidos.
- El sistema de tratamiento planteado es amigable con el ambiente debido a que no utiliza químicos para tratar el agua, además de que brinda una nueva opción de tratamiento

para las aguas residuales, al no aplicar ningún concepto de las plantas de tratamiento comunes.

- El destilador solar es una forma eficiente, innovadora y sustentable de obtener agua pura. Eficiente porque remueve varios contaminantes como materia orgánica, metales (Hg, Al, Se, Fe, Cr, Cl, Zn, P), nitrógeno, sales, coliformes totales, y microorganismos; innovador porque es una nueva forma de tratamiento para aguas residuales de todo tipo y finalmente es sustentable debido a que es accesible para todo tipo de sociedad y utiliza como fuente de energía al sol.

## RECOMENDACIONES

- Para la verificación del buen funcionamiento de la planta se recomienda realizar análisis físicos, químicos y microbiológicos anualmente.
- Mensualmente se recomienda realizar análisis físicos para generar datos bases del funcionamiento de la planta y si alguno de estos se encuentra fuera del rango normal se recomienda un análisis químico para poder aplicar las medidas correctiva.
- Esperar mínimo un año para que la eficiencia del humedal artificial de flujo subsuperficial sea la esperada.
- Aplicar el manual de mantenimiento y todas las indicaciones descritas en los mismos tanto para al destilador solar como para al humedal artificial (ver material adicional).
- Utilizar materiales de buena calidad para la construcción de los diferentes equipos, para que con esto la vida útil de los equipos y de la planta en si aumente.
- El destilador solar es un equipo muy eficiente que puede ser utilizado no solo para tratar lixiviados como se menciona en este proyecto, sino también para otros tipos de aguas residuales. Purifica el agua lluvia u otra agua no potable para utilizarla en el consumo humano o en prácticas de laboratorio; en áreas donde escasea este recurso vital.



## **OBSERVACIONES**

- Se debe ubicar el tanque recolector del lixiviado un mes casi alejado del relleno sanitario, para evitar que los desperdicios colocados en el relleno caigan en el mismo.
- Evitar la recirculación del lixiviado al relleno sanitario aun sabiendo que es una medida para bajar los niveles de contaminación a corto plazo esto provoca la eutrofización del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABAL, G., S.F.** *Fundamentos de Energía solar - Radiación solar*. Montevideo-Uruguay: Universidad de la República, versión 2.31.

[Consulta: 9 diciembre 2016].

[https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/54561/mod\\_resource/content/1/Curso-FES-Radiacion-solar-v2.3.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/54561/mod_resource/content/1/Curso-FES-Radiacion-solar-v2.3.pdf)

**ÁLVAREZ, A. & SUÁREZ, J.** “Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario El Guayabal de la ciudad San José de Cúcuta”. *Ingeniería y Desarrollo*. [En línea], 2006, Colombia, (20), pp. 96-105.

[Consulta: 20 diciembre 2016].

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85202007>

**ANON.** *Tiempo Pelileo* [En línea]. 2006

[Consulta: 18 diciembre 2016].

[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/semana/pelileo\\_ecuador\\_3653287](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/semana/pelileo_ecuador_3653287)

**ANON.** *Tratamiento de Aguas - Energía, Agua y Sostenibilidad Ambiental*. [En línea].

[Consulta: 28 noviembre 2016].

<http://www.tratamientodeaguas.org.mx/>

**BIOENCICLOPEDIA.** *Contaminación por Basura*. [En línea]. 2014

[Consulta: 28 marzo 2016].

<http://www.bioenciclopedia.com/contaminacion-por-basura/>

**CASTILLO, S.** *Cinética Química*. [En línea].

[Consulta: 13 diciembre 2016].

[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CO1\\_348.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CO1_348.pdf)

**CISTERNA, P. & PEÑA, D.** *Determinación de la reacción DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región* [En línea].

[Consulta: 13 enero 2017].

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>

**CONSORCIO DE CONSULTORES SANGIL.** *Especificaciones Técnicas y de Construcción* [En línea]. 2009.

[Consulta: 21 enero 2017].

<file:///C:/Users/alejo/Downloads/4.%20Especificaciones%20t%C3%A9cnicas.pdf>

**CORENA LUNA, Mironel de Jesus.** *Sistema de Tratamiento de para Lixiviados generados en Rellenos Sanitarios* [En línea] (tesis). Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Sincelejo, Colombia. 2008. pp. 1-80.

[Consulta: 2 diciembre 2016].

<http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564C797.pdf>

**CRITES, R. & TCHOBANOGLIOUS, G.** *Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones*. Santa Fé de Bogotá, Colombia: Nomos S.A, pp. 241-469, 556- 564.

**CUEVA TORRES, Edison Yasmany. & RIVADENEIRA BRAVO, Fidel Alfonso.** *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea* [En línea] (Proyecto de Investigación). Escuela Superior Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida, Ingeniería Agropecuaria, Santo Domingo, Ecuador. 2013. pp. 2-44.

[Consulta: 2 diciembre 2016].

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6543>.

**DIAZ DE SANTOS.** *Métodos Normalizados para el Análisis de Agua*. Madrid, España, 1992.

**DUFFIE, J. A. & BECKMAN, W. A.** *Solar Energy Thermal Processes*. New Jersey, Wiley & Sons, 4<sup>ta</sup> ed., 1974, pp. 1-928.

**EL TELÉGRAFO.** *Pelileo y Patate unen sus fuerzas para manejar basura*. 2013.

**ECUADOR EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO.** *Calidad del Agua*. [En línea]. 2000.

[Consulta: 10 diciembre 2016].

<http://www.aguaquito.gob.ec/calidad-del-agua>

**ECUADOR INAMHI.** *Red de Estaciones Automáticas e Hidrometereológicas* [En línea]. 2015.

[Consulta: 16 diciembre 2016].

<http://186.42.174.236/InamhiEmas/>

**ECUADOR INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA.** *Boletín climatológico semestral* [En línea]. 2016.

[Consulta: 13 diciembre 2016].

[http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol\\_sem.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_sem.pdf)

**FERNÁNDEZ, J.** *Humedales Artificiales para Depuración*. [En línea]. Cap. 6. 2009.

[Consulta: 17 enero 2017].

<http://www.ciencias->

[marinas.uvigo.es/bibliografia\\_ambiental/otros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%206.pdf](http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/otros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%206.pdf)

**FERRER POLO, J. & SECO TORRECILLAS, A.** *Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales*. México: Alfa Orega, 2008, pp. 94-97.

**FONSECA CASTRO, Carlos Manuel.** *Diseño de humedal construido para el tratar los lixiviados del proyecto de relleno sanitario de Pococí* [En línea] (tesis). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción, Pococí, Costa Rica. 2010. pp. 1-56.

[Consulta: 16 diciembre 2016].

[http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6158/dise%C3%B1o](http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6158/dise%C3%B1o_humedal_lixiviados_proyecto_relleno_sanitario_Poci.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[humedal\\_lixiviados\\_proyecto\\_relleno\\_sanitario\\_Poci.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6158/dise%C3%B1o_humedal_lixiviados_proyecto_relleno_sanitario_Poci.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**GÓMEZ, E. & LLAGAS, W.** “Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM”. Instituto de Investigaciones FIGMM. Vol. 15, n° 17 (2006), (Perú) pp. 86-96. ISSN 1628-8097

[Consulta: 12 diciembre 2016].

<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699/522>

**GUERRERO, L. G.** “*Destiladores Solares*”. *Revista Ciencias* [En línea]. 1989, (México) (15), pp. 1-3.

[Consulta: 11 diciembre 2016].

<http://www.revistaciencias.unam.mx/es/160-revistas/revista-ciencias-15/1407-destiladores-solares.html>

**GUEVARA, A., GUANOLUISA, L. & DE LA TORRE, E.** “*Diseño de Sistemas de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario El Inga mediante Electrocoagulación y Fitorremediación*”. *Revista EPN*. 2014, (Ecuador) vol. 34, n° 1, pp. 1-8.

**HUEZO BAUTISTA, Francisco René. & MORÁN URRUTIA, Jazmín Idalia.** *Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la escuela de Ingeniería Química* [En línea] (tesis). Universidad del Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química, San Salvador, Republica de San Salvador. 2012. pp. 1-145.

[Consulta: 21 diciembre 2016].

[http://ri.ues.edu.sv/2066/1/Dise%C3%B1o,\\_construcci%C3%B3n\\_y\\_validaci%C3%B3n\\_de\\_un\\_destilador\\_solar\\_para\\_uso\\_en\\_los\\_laboratorios\\_de\\_la\\_planta\\_piloto\\_de\\_la\\_escuela\\_de\\_ingenier%C3%ADa\\_qu%C3%ADmica.pdf](http://ri.ues.edu.sv/2066/1/Dise%C3%B1o,_construcci%C3%B3n_y_validaci%C3%B3n_de_un_destilador_solar_para_uso_en_los_laboratorios_de_la_planta_piloto_de_la_escuela_de_ingenier%C3%ADa_qu%C3%ADmica.pdf)

**IAGUA.** *Humedales Artificiales* [En línea]. 2012

[Consulta: 11 diciembre 2016].

<http://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>

**JIMENES BAUTISTA, Angélica María.** *Propuesta para el manejo de lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi* [En línea] (tesis). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. 2012. pp. 120

[Consulta: 10 diciembre 2016].

<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/788/1/T-UTC-1148.pdf>

**LALANGUI DELGADO, Darwin Antonio.** *Rediseño de la planta de tratamiento de agua residual, aplicando un sistema de humedal artificial con flujo superficial en la Extractora Teobroma* [En línea] (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 4-124.

[Consulta: 20 diciembre 2016].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4758>

**LARA BORRERO, Jaime Andrés.** *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales* [En línea] (tesis) (Maestría). Universidad Técnica de Cataluña, Barcelona, España. 1999. pp. 8-92.

[Consulta: 11 diciembre 2016].

<https://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf>

**LOIDL, A.** *Desarrollo Tecnológico Destilador Solar* [En línea]. 2010.

[Consulta: 11 diciembre 2016].

[http://www.energizar.org.ar/energizar\\_desarrollo\\_tecnologico\\_destilador\\_solar\\_que\\_e\\_s.html](http://www.energizar.org.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_destilador_solar_que_e_s.html)

**MARBELLO, R.** *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica* [En línea]. 2014.

[Consulta: 28 enero 2017].

<http://www.bdigital.unal.edu.co/12697/31/3353962.2005.Parte%206.pdf>

**MARTINEZ LOPEZ, A; et al. Sapiens.** “*Alternativas Actuales del Manejo de Lixiviados*”. *Avances en Química* [En línea], 2014, (Venezuela) 9(1), pp. 37-46. ISSN 1856-5301.

[Consulta: 28 noviembre 2016].

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93330767005>

**ECUADOR MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Humedales del Ecuador* [En línea]. 2015.

[Consulta: 11 diciembre 2016].

<http://suia.ambiente.gob.ec/web/humedales>

**MORANTE, H.** *Aguas Residuales Tratamiento* [En línea]. 2011.

[Consulta: 13 enero 2017].

<http://es.slideshare.net/Cynthia0609/3era-clase-iii-parcial-1>

**NACIONES UNIDAS.** *Decenio internacional para la Acción "El Agua Fuente de Vida"* [En línea]. 2014.

[Consulta: 10 diciembre 2016].

<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

**NORMA TÉCNICA 05-12-2014**, *ubicación, diseño, construcción, operación, clausura y post clausura de rellenos y/o celdas de seguridad para la disposición final de desechos peligrosos. Art. 10.*

**O'CONNELL, J. & FRANCO GARCÍA, A.** *Evaporación del Agua* [En línea]. 1999.

[Consulta: 2 enero 2017].

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/latente1/latente1.htm>

**PIZZI, R.** *Que energía Utilizamos 2* [En línea]. 2012.

[Consulta: 13 enero 2017].

<https://robertopizzi.wordpress.com/page/6/>

**RODRÍGUEZ LEIVA, Roberto Rafael. & SAAVEDRA ACOSTA, Wilson David.** *Diseño y construcción de un destilador solar de aguas residuales para el laboratorio de energías renovables - DECEM* (tesis). Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica. Sangolquí, Quito. 2008. pp. 7-161.

[Consulta: 10 diciembre 2016].

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/602>

**ROMERO, M.; et al. Sapiens.** *"Tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de humedales artificiales piloto: evaluación de la remoción de carga orgánica"*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [En línea]. 2009 (México). 25(3), pp. 1-12.

[Consulta: 7 diciembre 2016].

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37012012004>

**RUSSELL, D.** *Tratamiento de aguas residuales, un enfoque práctico*. España: Reverté. Edición en español. 2012, pp. 11-162.

**SABANDO ALVAREZ, Andrea.** *Diseño y construcción de un destilador solar para aguas residuales de la ciudad de Riobamba* (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Biotecnología Ambiental. Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 1-120.

**SALAZAR, L. & SAAVEDRA, I.** “*Tratamiento de Lixiviados, Casos prácticos en diferentes temperaturas*”. REDISA [En línea], 2009 (Colombia), pp. 1-15.

[Consulta: 20 octubre 2016].

[http://www.redisa.uji.es/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Tratamiento%20de%20lixiviados\\_casos%20pr%C3%A1cticos%20en%20diferentes%20temperaturas.pdf](http://www.redisa.uji.es/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Tratamiento%20de%20lixiviados_casos%20pr%C3%A1cticos%20en%20diferentes%20temperaturas.pdf)

**SETTY, K.** *Manual de Construcción: Humedales construidos para el tratamiento de aguas negras*. [En línea]. 2009.

[Consulta: 15 enero 2017].

[http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP\\_reports/Diseno\\_Humedal\\_AguasNegras.pdf](http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP_reports/Diseno_Humedal_AguasNegras.pdf)

**SOLIS, C.** *Diseño de Tratamiento de aguas residuales municipales- Maestría en Ciencias Ambientales con énfasis en tratamiento del agua*. Universidad Autónoma de México. 2008 (México).

**SZANTÓ, M., PIRAINO, E. & ARANCIBIA, C.** “*Criterios para Tratamientos de Lixiviados de rellenos sanitarios mediante evaporación por radiación solar*”. 4SIIR [En línea]. 2011 (Brasil), pp. 598-601. ISSN 978-607-607-015-4.

[Consulta: 20 abril 2016].

<http://es.slideshare.net/marcelitagarzon1/criterios-para-el-tratamiento-de-lixiviados-de-rellenos-sanitarios-mediante-evaporacin-por-radiacin-solar>

**TULSMA 2016.** *Libro VI, Anexo 1, tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce*



**VALENCIA LOPEZ, Adriana Elizabeth.** *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - provincia de Chimborazo* (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 1-110.

[Consulta: 11 enero 2017].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>

**YUCOM, D., S.F.** *Manual de Diseño: Humedal para el Tratamiento de Aguas Grises por Biofiltración*. [En línea].

[Consulta: 3 diciembre 2016].

[http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP\\_reports/Diseno\\_Humedal\\_AguasGrises.pdf](http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP_reports/Diseno_Humedal_AguasGrises.pdf)

**ZABALA, R. & BÉJAR, J.** *Guía general para la presentación de trabajos de titulación*. Riobamba: Instituto de Investigaciones. 2015.

## ANEXOS

### ANEXO A.

#### Medición de temperaturas

La siguiente tabla contiene los datos experimentales tomados cada treinta minutos en el prototipo de destilador solar ubicado en la Estación Meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Donde:

Ta: Temperatura ambiente

T<sub>H2O</sub>: Temperatura del agua

Hr: Humedad relativa

T<sub>B</sub>: Temperatura de la bandeja

Tc: Temperatura de la cubierta

Ti: Temperatura interior

Tabla 1-A Temperaturas promedio diarias

Fecha	Horas	Ta °C	Hr %	Tc °C	Ti °C	T <sub>H2O</sub> °C	T <sub>B</sub> °C
dic-05	9:00 - 16:00	19,987	43	38,367	51,547	57,313	59,38
dic-06	9:00 - 16:00	18,733	46,75	36,593	49,707	55,323	57,333
dic-07	9:00 - 16:00	19,86	42,25	37,607	52,907	58,56	60,767
dic-08	9:00 - 16:00	20,093	42,25	38,967	53,18	58,147	60,54
dic-09	9:00 - 16:00	19,393	47,5	36,973	51,727	56,873	59,153
<b>Promedio</b>		19,6132	44,35	37,7014	51,8136	57,2432	59,4346

Realizado por: Lizeth Morales, 2017

## ANEXO B

### TULSMA, libro IV, Anexo 1, tabla 9

ANEXO 1 DEL LIBRO IV DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE:  
NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Asbestos y Grises	Susp. sólidos en hecario	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Boro Total	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cromo Activo	Cr	mg/l	0,5
Cloroformo	Trl. carbón de activos 600	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1.800
Cobalt	Co	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	300
Color real <sup>1</sup>	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución 1/30
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>VI</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	BOD <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estibio	Sb	mg/l	5,0
Fluoruro	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	30,0
Hierro total	Fe	mg/l	30,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia floculante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	1,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspensibles Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1.600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

<sup>1</sup> La apredad de de l color se estima sobre 10cm de muestra diluida.

PK

## ANEXO C

Tabla para el dimensionamiento del vertedero circular

$h/D$ (adim.)	$w$ (adim.)	$\phi$ ( $m^{1/2}/s$ )	$h/D$ (adim.)	$w$ (adim.)	$\phi$ ( $m^{1/2}/s$ )	$h/D$ (adim.)	$w$ (adim.)	$\phi$ ( $m^{1/2}/s$ )
0.01	0.0004	0.00047	0.36	0.3451	0.4076	0.71	1.1804	1.3943
0.02	0.0013	0.00154	0.37	0.3633	0.4291	0.72	1.2085	1.4275
0.03	0.0027	0.00319	0.38	0.3819	0.4511	0.73	1.2368	1.4609
0.04	0.0046	0.00543	0.39	0.4009	0.4735	0.74	1.2653	1.4946
0.05	0.0071	0.00893	0.40	0.4203	0.4965	0.75	1.2939	1.5284
0.06	0.0102	0.0120	0.41	0.4401	0.5199	0.76	1.3226	1.5623
0.07	0.0139	0.0164	0.42	0.4603	0.5437	0.77	1.3514	1.5963
0.08	0.0182	0.0215	0.43	0.4809	0.5681	0.78	1.3802	1.6303
0.09	0.0231	0.0273	0.44	0.5019	0.5929	0.79	1.4091	1.6644
0.10	0.0286	0.0338	0.45	0.5233	0.6182	0.80	1.4380	1.6986
0.11	0.0346	0.0409	0.46	0.5451	0.6439	0.81	1.4670	1.7328
0.12	0.0412	0.0487	0.47	0.572	0.6700	0.82	1.4960	1.7671
0.13	0.0483	0.0571	0.48	0.5896	0.6965	0.83	1.5250	1.8013
0.14	0.0560	0.0661	0.49	0.6123	0.7223	0.84	1.5540	1.8356
0.15	0.0642	0.0758	0.50	0.6540	0.7506	0.85	1.5830	1.8699
0.16	0.0728	0.0860	0.51	0.6588	0.7782	0.86	1.6120	1.9041
0.17	0.0819	0.0967	0.52	0.6825	0.8062	0.87	1.6410	1.9384
0.18	0.0914	0.1080	0.53	0.7064	0.8344	0.88	1.6699	1.9725
0.19	0.1014	0.1198	0.54	0.7306	0.8630	0.89	1.6988	2.0066
0.20	0.1119	0.1322	0.55	0.7551	0.8920	0.90	1.7276	2.0407
0.21	0.1229	0.1452	0.56	0.7799	0.9212	0.91	1.7561	2.0743
0.22	0.1344	0.1588	0.57	0.8050	0.9509	0.92	1.7844	2.1077
0.23	0.1464	0.1729	0.58	0.8304	0.9809	0.93	1.8125	2.1409
0.24	0.1589	0.1877	0.59	0.8560	1.0111	0.94	1.8403	2.1738
0.25	0.1719	0.2030	0.60	0.8818	1.0416	0.95	1.8678	2.2063
0.26	0.1854	0.2190	0.61	0.9079	1.0724	0.96	1.8950	2.2384
0.27	0.1994	0.2355	0.62	0.9342	1.1035	0.97	1.9219	2.2702
0.28	0.2139	0.2527	0.63	0.9608	1.1349	0.98	1.9484	2.3015
0.29	0.2289	0.2704	0.64	0.9876	1.1666	0.99	1.9744	2.3322
0.30	0.2443	0.2886	0.65	1.0147	1.1986	1.00	2.0000	
0.31	0.2601	0.3072	0.66	1.0420	1.2308			
0.32	0.2763	0.3264	0.67	1.0694	1.2632			
0.33	0.2929	0.3460	0.68	1.0969	1.2957			
0.34	0.3099	0.3660	0.69	1.1246	1.3284			
0.35	0.3273	0.3866	0.70	1.1524	1.3612			

## ANEXO D

### Pruebas de Tratabilidad

a)



b)



c)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  Myriam Lizeth Morales Pilataxi	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PARA LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DE ASEO INTEGRAL PATATE - PELILEO EMMAIT-EP		
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar		LÁM:	ESC:	FECHA:
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar		2	1:1	Marzo / 2017
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información				

## ANEXO E

### PRUEBAS DE TRATABILIDAD

a)



b)



c)



d)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>  Myriam Lizeth Morales Pilataxi	<b>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PARA LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DE ASEO INTEGRAL PATATE - PELILEO EMMAIT-EP</b>		
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar		LÁM:	ESC:	FECHA:
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar		3	1:1	Marzo / 2017
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información				



## ANEXO F

### Destilador Solar

a)



b)



c)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>  Myriam Lizeth Morales Pilataxi	<b>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PARA LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DE ASEO INTEGRAL PATATE - PELILEO EMMAIT-EP</b>		
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar  <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar  <input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información		LÁM:	ESC:	FECHA:
			4	1:1	Marzo / 2017

## ANEXO G

### Pruebas con lechugines

a)



b)



c)



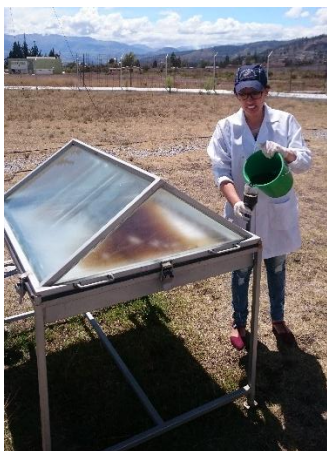
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  Myriam Lizeth Morales Pilataxi	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PARA LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DE ASEO INTEGRAL PATATE - PELILEO EMMAIT-EP		
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar		LÁM:	ESC:	FECHA:
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar		5	1:1	Marzo / 2017
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información				



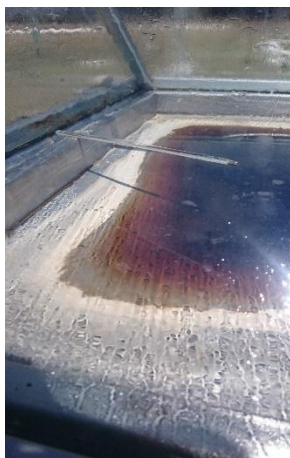
## ANEXO H

### Pruebas en el destilador solar

a)



b)



c)



d)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>  Myriam Lizeth Morales Pilataxi	<b>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PARA LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DE ASEO INTEGRAL PATATE - PELILEO EMMAIT-EP</b>		
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar		LÁM:	ESC:	FECHA:
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar		6	1:1	Marzo / 2017
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información				

## ANEXO I

### Humedal Artificial

a)



b)



c)

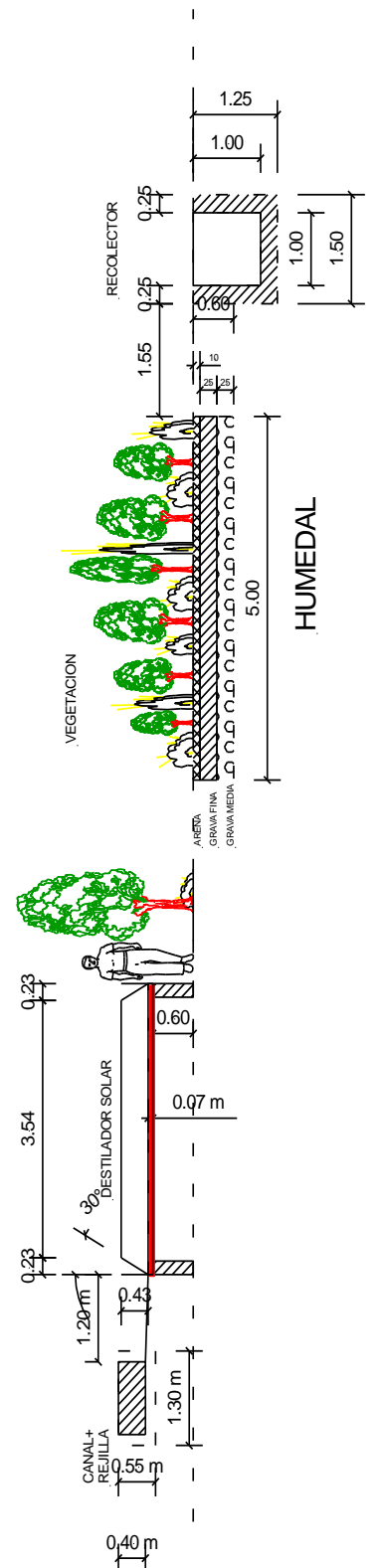
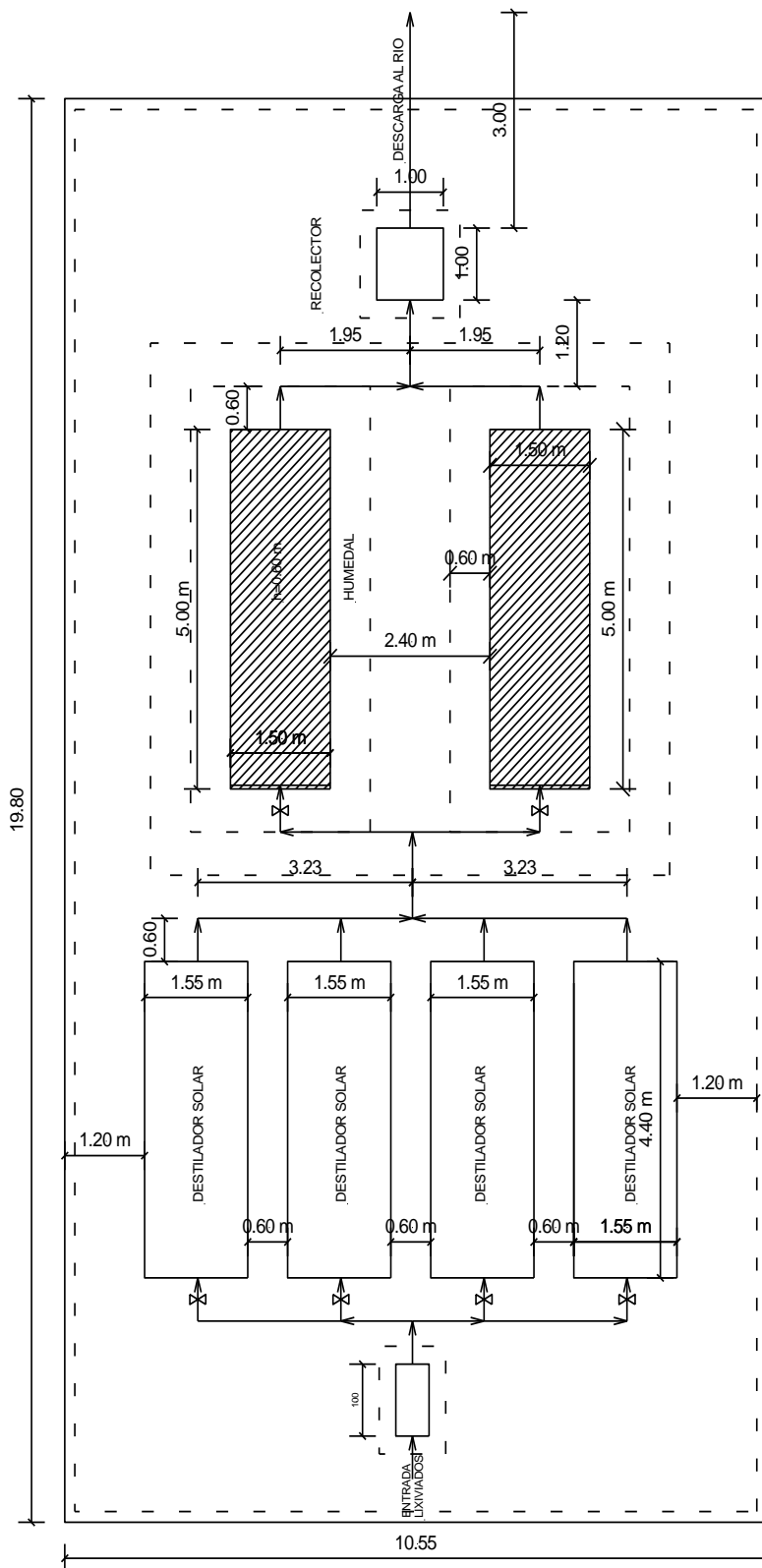


NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>  Myriam Lizeth Morales Pilataxi	<b>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PARA LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DE ASEO INTEGRAL PATATE - PELILEO EMMAIT-EP</b>		
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LÁM:	ESC:	FECHA:
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		7	1:1	Marzo / 2017
	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input checked="" type="checkbox"/> Información				



## **ANEXO J**

### **PLANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**





# ANEXO K

## ANALISIS DE LABORATORIO

**ESPOCH**

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Myriam Lizeth Morales Pilataxi

Fecha de Análisis: 5 - Octubre - 16

Tipo de muestras: Lixiviado de Relleno Sanitario, EMAIT-EP.

Localidad: Cantón Pelileo - Provincia de Tungurahua.

### LIXIVIADOS

#### Análisis Físicos Químicos Iniciales

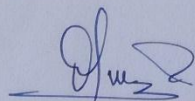
Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	8,14
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	14,3
Turbiedad	NTU	2130-B	183
SAL	‰		8,1
Color	Und Co/Pt		9410
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	3670
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	7060
TDS	g/l	2540-D	7.5
TSS	mg/l		546
Nitrógeno total	mg/l	HACH 10072	13600
coliformes Totales	UFC/100 mL	microfiltracion	$2,5 \cdot 10^4$
Coliformes fecales	UFC/100 mL	microfiltración	7

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente.

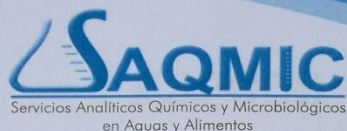


Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



# ANEXO L

## ANALISIS DE LABORATORIO



### EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

CÓDIGO LM-16

<b>CLIENTE:</b> Srta. Lizeth Morales		
<b>DIRECCIÓN:</b> Petileo		<b>TELÉFONO:</b> 0987937020
<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Lixiviado de relleno sanitario		
<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 27 de noviembre del 2016		
<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 27 de noviembre del 2016		
<b>EXAMEN FISICO</b>		
COLOR: Negro		
OLOR: Característico		
ASPECTO: Homogéneo		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>RESULTADO</b>
Coliformes totales UFC/g	NTE INEN 1529-7	$2.5 \times 10^4$
<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 27 de noviembre del 2016		
<b>FECHA DE ENTREGA:</b> 30 de noviembre del 2016		
<b>RESPONSABLE:</b>		
 <b>Dra. Gina Álvarez R.</b>		
 Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos		
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables. *Las muestras son receptados en laboratorio.		

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes  
Contáctanos: 0998580374 - 032942322 ó 0984648617  
Riobamba – Ecuador



# ANEXO M

## ANALISIS DE LABORATORIO

**ESPOCH**

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Myriam Lizeth Morales Pilataxi

Fecha de Análisis: 10 - Octubre - 16

Tipo de muestras: Lixiviado de Relleno Sanitario (tratado con aireación + sulfato de manganeso), EMAIT-EP.

Localidad: Cantón Pelileo - Provincia de Tungurahua.

### LIXIVIADOS

#### Análisis Físicos

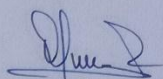
Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	8.84
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	14.3
Color	Und Co/Pt		Café chocolate
TDS	g/l	2540-D	7.9
Temperatura	°C		24.2
olor			elevado

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS





# ANEXO N

## ANALISIS DE LABORATORIO

### ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Myriam Lizeth Morales Pilataxi

Fecha de Análisis: 10 - Octubre - 16

Tipo de muestras: Lixiviado de Relleno Sanitario (tratado con aireación),  
EMAIT-EP.

Localidad: Cantón Pelileo - Provincia de Tungurahua.

#### LIXIVIADOS

##### Análisis Físicos

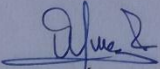
Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	8.7
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	14.7
Color	Und Co/Pt		Café
TDS	g/l	2540-D	8
Temperatura	°C		24.2

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente.

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



# ANEXO O

## ANALISIS DE LABORATORIO

**ESPOCH**

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Myriam Lizeth Morales Pilataxi

Fecha de Análisis: 15 - Octubre - 16

Tipo de muestras: Lixiviado de Relleno Sanitario (tratado con destilación), EMAIT-EP.

Localidad: Cantón Pelileo - Provincia de Tungurahua.

### LIXIVIADOS

#### Análisis Físicos

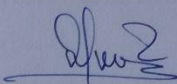
Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	9.29
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	5.1
Color	Und Co/Pt		transparente
TDS	g/l	2540-D	2.7
Temperatura	°C		24.3
Olor			Mínimo

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente.

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



# ANEXO P

## ANALISIS DE LABORATORIO

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Myriam Lizeth Morales Pilataxi

Fecha de Análisis: 15 - Octubre - 16

Tipo de muestras: Lixiviado de Relleno Sanitario (tratado con destilación + aireación), EMAIT-EP.

Localidad: Cantón Pelileo - Provincia de Tungurahua.

### LIXIVIADOS

#### Análisis Físicos

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	9.35
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	4.23
Color	Und Co/Pt		transparente
TDS	g/l	2540-D	2.29
Temperatura	°C		20.2
Olor			ninguno

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS





# ANEXO Q

## ANALISIS DE LABORATORIO

**ESPOCH**

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Myriam Lizeth Morales Pilataxi

Fecha de Análisis: 16 - Diciembre - 16

Tipo de muestras: Lixiviado de Relleno Sanitario tratado, EMAIT-EP.

Localidad: Cantón Pelileo - Provincia de Tungurahua.

### LIXIVIADOS

#### Análisis Físicos Finales

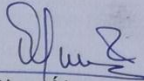
Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	7.85
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	1.35
Color	Und Co/Pt		318
TDS	g/l	2540-D	0.73

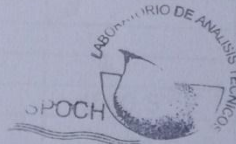
\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente.

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



# ANEXO R

## ANALISIS DE LABORATORIO

**ESPOCH**

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Myriam Lizeth Morales Pilataxi

Fecha de Análisis: 20 - Noviembre - 16

Tipo de muestras: Lixiviado de Relleno Sanitario (tratado con destilación + aireación), EMAIT-EP.

Localidad: Cantón Pelileo - Provincia de Tungurahua.

### LIXIVIADOS

#### Análisis Químicos y Físicos

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
pH	Und.	4500-B	8.33
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	14.1
Color	Und Co/Pt		transparente
TDS	g/l	2540-D	2.29
Demanda química de Oxígeno	mg/l	5220-C	184
Demanda biológica de Oxígeno	mg/l	5210-B	354
Nitrógeno total	mg/l	HACH 10072	676

\*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



# ANEXO S

## ANALISIS DE LABOTAORIO

### ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Myriam Lizeth Morales Pilataxi

Fecha de Análisis: 16 - Diciembre - 16

Tipo de muestras: Lixiviado de Relleno Sanitario tratado caracterización química final EMAIT-EP.

Localidad: Cantón Pelileo - Provincia de Tungurahua.

#### LIXIVIADOS

#### Análisis Químicos Finales

Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Nitrógeno total	mg/L	HACH 10072	50
Sulfatos	mg/L	4500 SO <sub>4</sub> E	79
Cromo hexavalente	mg/L		0.01
Hierro	mg/L		-0.05
Aluminio	mg/L		0.021
Cloro libre residual	mg/L		0
Plomo	mg/L		0
Zinc	mg/L		-0.15
Selenio	mg/L		0
Fosforo total	mg/L		7.85
Sulfuros	mg/L	4500 S <sup>-2</sup> E	<0.5
Demanda Química de Oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	5220-C	113
Demanda Biológica de Oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	5210-B	59
Sólidos totales	mg/L	2540-A	241
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-B	0.8

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

#### Análisis microbiológicos

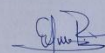
Determinaciones	Unidades	*Método	Resultados
Coliformes totales	UFC/100 mL	microfiltración	996
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	microfiltración	5

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente,







Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANALISIS TÉCNICOS





# ANEXO T

## ANÁLISIS DE LABORATORIO (CARACTERIZACIÓN INICIAL)

		<b>AMBIENTAL</b> <b>DEPARTAMENTO :</b> <b>SERVICIOS DE LABORATORIO</b> Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfax: (03) 3013183		 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 20 06-008 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b>	
<b>INFORME DE ENSAYO No:</b> 751 <b>ST:</b> 456-16 ANÁLISIS DE AGUAS <b>Nombre Peticionario:</b> EMMAIT-EP <b>Atm.:</b> Ing. César Prieto <b>Dirección:</b> Quis Quis y Ricaurte Palileo - Taguarhua					
<b>FECHA:</b> 29 de Junio del 2016 <b>NUMERO DE MUESTRAS:</b> 1 <b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b> 2016/06/17 - 14:40 <b>FECHA DE MUESTREO:</b> 2016/06/17 - 09:00 <b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 2016/06/17 - 2016/06/29 <b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua residual <b>CÓDIGO CESTTA:</b> LAB-A 674-16 <b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b> NA <b>PUNTO DE MUESTREO:</b> Tanques de almacenamiento lixiviados <b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> Físico-Químico <b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b> Ing. Cesar Prieto <b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b> T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C					
<b>RESULTADOS ANALÍTICOS:</b>					
PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (µ)
Cloro Libre Residual $\text{Cl}_2$	PEE/CESTTA/12 Standard Methods No.4500-Cl G	mg/L	<0,1	±27%	-
Fenoles $\text{C}_{12}$	PEE/CESTTA/14 Standard Methods No. APHA 5510 C	mg/L	>0,2	±7%	-
Demanda Química de Oxígeno $\text{DQO}$	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	2710	±6%	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (Sdtas) $\text{DQO}$	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	1250	±15%	-
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	PEE/CESTTA/08 Standard Method No 6440-B	mg/L	< 0,0003	±28%	-
*Mercurio $\text{Hg}^{2+}$	EPA245.7/EPA 3015*	mg/L	<0,001	-	-
Nitrógeno Total Kjeldahl $\text{N}_{\text{TK}}$	PEE/CESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	mg/L	>400	±6%	-
Potencial Hidrógeno $\text{pH}$	PEE/CESTTA/05 Standard Method No. 4500-H <sup>+</sup> B	Unidades de pH	8,31	± 0,2	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados  
 MC01-14

Página 1 de 2  
 Edición 0

		<b>AMBIENTAL</b> <b>DEPARTAMENTO :</b> <b>SERVICIOS DE LABORATORIO</b> Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfax: (03) 3013183		 Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 20 06-008 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b>	
Sólidos Suspendedos $\text{SS}$	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	220	±11%	-
Sólidos Totales $\text{ST}$	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	7080	±3%	-
Sulfatos $\text{SO}_4$	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No. 4500-SO <sub>4</sub> E	mg/L	<8	±25%	-
Sulfuros $\text{S}^{2-}$	PEE/CESTTA/19 Standard Methods No. 4500-S <sup>2-</sup> C y D	mg/L	2,60	±5%	-
Tensoactivos $\text{S}^{2-}$	PEE/CESTTA/44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	3,45	±7%	-
*Organoclorados Totales $\text{OC}$	PEE/CESTTA/130 GC	µg/L	< 0,002	-	-
Fosforo total $\text{P}_{\text{OT}}$	PEE/CESTTA/21 Standard Methods No. 4500-P B3	mg/L	1,74	±23%	-
Cromo $\text{Cr}^{6+}$	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	0,36	±11%	-
Plomo $\text{Pb}^{2+}$	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,01	±18%	-
Zinc $\text{Zn}^{2+}$	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,25	±11%	-
Aluminio $\text{Al}^{3+}$	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	0,83	±7%	-
Selenio $\text{Se}^{2-}$	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	<0,05	±22%	-
Hierro $\text{Fe}^{2+}$	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	5,16	±16%	-

**OBSERVACIONES:**

- Muestra recibida en el laboratorio.
- Los análisis marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación de SAE.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

Dr. Mauricio Alvarez  
 RESPONSABLE TÉCNICO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados  
 MC01-14

Página 2 de 2  
 Edición 0

## ANEXO U

### ANÁLISIS DE LABORATORIO (CARACTERIZACIÓN FINAL)

 **LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**

Nº SE: 006 - 17

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Srta. Lizeth Morales **INFORME Nº:** 006 - 17  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 006 - 17  
**DIRECCION:** Pelileo

**TELÉFONO:** 0987937020 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 13 - 01 - 17  
**FECHA DE INFORME:** 20 - 01 - 17

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **Agua Tratada, Lixiviados, Relleno Sanitario Pelileo** **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 011 - 17 **Agua**


El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA - 011-17


PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UI(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	6,75	N/A	13 - 01 - 17
DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	71	N/A	13 - 01 - 17
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	125	N/A	13 - 01 - 17
Aluminio	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Al - 3111D	0,037	N/A	13 - 01 - 17
Hierro	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Fe - 3111B	0,12	N/A	13 - 01 - 17
Cloro libre residual	mg Cl2/l	STANDARD METHODS 4500 - Cl G mod	0,21	N/A	13 - 01 - 17
Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - SO4 - F mod	77	N/A	13 - 01 - 17
Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	2,25	N/A	13 - 01 - 17
Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,014	N/A	13 - 01 - 17
Cromo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,193	N/A	13 - 01 - 17
Zinc	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Zn - 3111B	0,052	N/A	13 - 01 - 17
Turbidez	NTU	STANDARD METHODS 2130 B	1,13	N/A	13 - 01 - 17
Color aparente	Upt-Co	STANDARD METHODS 2120 - C	187	N/A	13 - 01 - 17
Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0,47	N/A	13 - 01 - 17
Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	4,02	N/A	13 - 01 - 17
Sólidos Suspendedos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	3	N/A	13 - 01 - 17

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s)  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

  
FMC2101-01

Página 1 de 2

L.S.A. Campus Master Edison Riera Km 1 1/2 vía a Cuaro Bloque Administrativo.


 **LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**

Nº SE: 006 - 17

Sólidos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - B	728	N/A	13 - 01 - 17
-----------------	------	---------------------------	-----	-----	--------------

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TÉCNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s)  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

FMC2101-01

Página 2 de 2

L.S.A. Campus Master Edison Riera Km 1 1/2 vía a Cuaro Bloque Administrativo.



## **ANEXO V**

### **MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS**

#### **OPERACIÓN DEL DESTILADOR SOLAR**

“El equipo está diseñado para que su operación y mantenimiento sea sencillo, con el fin de que cualquier persona esté en capacidad de encargarse de estos aspectos.

En la operación de los destiladores solares se debe tomar en cuenta ciertos detalles prácticos” (Huezo & Morán, 2012):

- “La bandeja colectora del destilador nunca debe secarse en su totalidad, pues al secarse se depositan ciertas sales sobre la superficie, se calienta excesivamente el destilador y se llega a alterar algunas de las condiciones de la superficie, lo que provocaría que el equipo no vuelva a funcionar igual.” (Huezo & Morán, 2012)
- “El destilador debe limpiarse íntegramente de forma periódica, con esto se evita que disminuya la capacidad de evaporación del destilador.” (Huezo & Morán, 2012)

#### **“Requisitos de espacio para la ubicación de captadores solares**

Se debe disponer del área física necesaria.

Prestar atención de que no existan obstáculos sobre la cubierta de vidrio, que puedan provocar sombra en el equipo, por toda esta razón será necesario situarlo en un área libre de obstáculos.

Una característica de influencia en la eficiencia del destilador es la inclinación de montaje, siendo la más óptima aquella en la que los rayos del sol inciden perpendicularmente sobre la superficie de captación.

La posición del sol depende de la época del año y de la altitud del lugar donde se encuentra el equipo.” (Huezo & Morán, 2012)

#### **Puesta en marcha y mantenimiento en la instalación**

“El equipo debe contar con una válvula de llenado para evitar que el equipo exceda su capacidad.

La operación de llenado se debe realizar en horas bajas de radiación solar.

Se debe tener en cuenta que todos los componentes del destilador solar operan bajo condiciones climáticas muy duras, caracterizados por altos niveles de radiación solar, fluctuaciones de temperatura considerables (del día a la noche), y la acción corrosiva del entorno.

El objetivo de las operaciones de mantenimiento es comprobar que el equipo se encuentre en buen estado y que su funcionamiento sea correcto. Se debe seguir los siguientes pasos:

- Limpiar el equipo
- Comprobar la presión en caso de daño repararla.
- Comprobar el estado y funcionamiento de las válvulas.
- Verificar que no haya fugas ni defectos en el aislamiento.
- Limpiar superficies.” (Huezo & Morán, 2012)

### **Labores cotidianas a ser efectuadas**

“Diariamente:

- Inspección visual, verificando que el nivel del agua sea correcto y verificar que el proceso de destilado sea normal (libre de obstrucciones).
- Evitar que el destilador quede seco o con un nivel de agua por debajo de su volumen de diseño. Esto puede causar incrustaciones de sales y el sobrecalentamiento del vidrio, mimos que reduce la capacidad de condensación del vapor, lo hace quebradizo y peligroso a la manipulación.” (Huezo & Morán, 2012)

“Mensual:

- Limpieza completa del destilador solar. Para la limpieza del vidrio es recomendable hacerlo con agua destilada, en cantidades suficientes para humedecer un paño suave; generalmente se recomienda limpiar la superficie externa y de ser necesario se realiza la limpieza interna.
- Evitar que la contaminación en el depósito de recolección, ya sea por restos del jabón o agua no destilada.
- Revisar el estado de las gomas de sellado del equipo. En caso de ruptura se produce fugaz de vapor, por lo que debe repararse rápidamente.
- De hallarse una zona corroída, lijarla y aplicar una.” (Huezo & Morán, 2012)



## **MANTENIMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL**

“El mantenimiento de un humedal artificial construido debe implicar sólo un día a la semana o menos:

- Cosechando de plantas generalmente no es requerido para humedales tipo SSF, pero trabajo anual, incluyendo quitar, quemar, afinar, o replantar la vegetación puede ser beneficioso si el flujo es dañado. Una dispersión uniforme de la comunidad de plantas debe ser mantenida para asegurar el tratamiento efectivo.
- El suelo exterior e interior donde se construyó el humedal, puede requerir el recorte de vegetación y control de erosión. La eliminación periódica de semillas extranjeras de árboles de la cama de humedal puede ser necesario.
- El humedal debe ser revisado con regularidad para uniformidad de flujo, para los olores indeseables. La invasión de plantas, de insectos, y de animales deben ser observados y quitados.
- Si se desea, se puede monitorear el agua químicamente para asegurar el funcionamiento del humedal o investigar la eficiencia del humedal construido. Esto aumentará el costo y el tiempo requerido para el mantenimiento, pero es un indicador útil del tratamiento exitoso de aguas negras. Los parámetros importantes para controlar incluye pH, oxígeno disuelto (DO), los sólidos suspendidos (SS), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD), y Coliformes.” (Setty, 2009)

### **“Tratamientos de las plantas**

El único cuidado agronómico es el tratamiento de posibles plagas o enfermedades que pudieran sufrir las plantas y el segado periódico de la biomasa producida en la parte aérea de las plantas (2 o 3 veces en el año).

### **Producción de biomasa**

El crecimiento de las plantas produce una gran cantidad de biomasa que, según se ha dicho en el párrafo anterior, es necesario cortar periódicamente. El volumen de biomasa producido varía en función de las condiciones climáticas de la zona en que esté situado el sistema, principalmente, con la temperatura ambiente, pero siempre es muy abundante debido a que las plantas disponen de agua y nutrientes sin limitación, siendo fácil el obtener producciones anuales que superen las 50 t de materia seca por ha. La recolección se hace manualmente para plantas de pequeña

superficie y mediante tractor con un brazo mecánico de corta y descarga en una cesta o remolque trasero.

La biomasa recolectada tiene las siguientes aplicaciones:

- Como forraje para alimentación de ganado.
- Como combustible.
- Para la producción de compost para enmienda de tierras y fertilización.
- Para industrias de artesanía local que utilice los juncos o espadañas secos (asientos de sillas, paneles de construcción).” (Fernández, 2009)